

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

CAMILA BORGES LIMA

CACTO MANDACARU (*Cereus jamacaru*): COAGULANTE COMO AUXILIAR NO
TRATAMENTO DE ÁGUA

UBERABA

2020

CAMILA BORGES LIMA

CACTO MANDACARU (*Cereus jamacaru*): COAGULANTE COMO AUXILIAR NO
TRATAMENTO DE ÁGUA

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Mônica Hitomi Okura

UBERABA

2020

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

L697c Lima, Camila Borges
Cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*): coagulante como auxiliar
no tratamento de água / Camila Borges Lima. -- 2020.
75 f. : il., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica)
-- Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2020
Orientadora: Profa. Dra. Mônica Hitomi Okura

1. Água-Purificação-Coagulação. 2. Água-Tratamento. I. Okura,
Mônica Hitomi. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro.
III. Título.

CDU 628.16.065.2

CAMILA BORGES LIMA

CACTO MANDACARU (CEREUS JAMACARU): COAGULANTE COMO AUXILIAR
NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Uberaba, de 28 de fevereiro de 2020

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Mônica Hitomi Okura – Orientadora
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. Deusmaque Carneiro Ferreira
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Dr. José Waldir de Sousa Filho
Universidade de Uberaba



Documento assinado eletronicamente por **MONICA HITOMI OKURA, Coordenador(a) do Programa de Mestrado Profissional em Inovacao Tecnologica Substituto(a)**, em 28/09/2020, às 15:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **DEUSMAQUE CARNEIRO FERREIRA, Professor do Magistério Superior**, em 29/09/2020, às 17:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ WALDIR DE SOUSA FILHO, Usuário Externo**, em 02/10/2020, às 09:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#) e no art. 14 da [Resolução nº 34, de 28 de dezembro de 2017](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.uftm.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0404317** e o código CRC **6C62031A**.

Dedico este trabalho aos meus pais Marilia e Marco Tulio, e a todos os envolvidos que me ajudaram nessa grande vitória.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que sempre me ouviu e me deu forças para alcançar essa conquista.

Agradeço aos meus pais Marília e Marco Túlio, que sempre me ampararam, incentivaram e me ajudaram em todos os momentos, fossem eles bons ou ruins, com muito amor e carinho.

À minha avó Irene e ao meu irmão Gustavo, que sempre me ajudaram, apoiando sempre e acreditando em minha vitória.

Ao meu namorado Eduardo que me ajudou com palavras e demonstrações, estando ao meu lado em todos os momentos, confiando em mim e não deixando com que eu desistisse. Aos meus amigos que me auxiliaram sempre que necessário, incentivando e contribuindo para a finalização desse.

A todos os professores que compartilharam do Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, me ensinando lições tanto para a vida profissional quanto para a pessoal.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Mônica Hitomi Okura, que desde o começo transmitiu todo o seu conhecimento. Obrigada por tudo, pela ajuda, pelo apoio e por ter aceitado realizar esse desafio comigo. Ao Prof. Dr. Deusmaque Carneiro Ferreira por toda ajuda no planejamento e execução do trabalho, bem como nas dúvidas ao decorrer da caminhada.

A Companhia Operacional de Desenvolvimento, Saneamento e Ações Urbanas de Uberaba - Codau pelo apoio, colaboração e por ter aberto as portas para a realização das metodologias das análises, especialmente ao Prof. Dr. José Waldir de Sousa Filho que ajudou de diversas maneiras, colaborando para que o projeto pudesse ser realizado no laboratório da Codau., além de contribuir para a construção deste.

Obrigada a todos que participaram direta ou indiretamente dessa caminhada.

“Valorize quem te ama, esses sim merecem seu respeito. Quanto ao resto, bom... ninguém nunca precisou de restos para ser feliz.”

Clarice Lispector

RESUMO

A água é de grande importância tanto para a vida quanto para os ecossistemas, sendo uma fonte abundante no planeta. O tratamento da água é uma solução para que a mesma se torne potável para a sociedade, sendo que sua principal função é a remoção das impurezas presentes. Entre as principais etapas desse processo, pode-se citar a coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Na etapa de coagulação, utiliza-se um produto conhecido como coagulante, que faz as partículas presente na água se aglomerarem, e geralmente aplica-se o sulfato de alumínio. Porém devido a problemas apontados em estudos, faz-se necessário encontrar substitutos ou auxiliares a fim de amenizar os problemas. Com isso, este trabalho teve como objetivo aplicar o cacto *Cereus jamacaru* como auxiliar do sulfato de alumínio, analisando os resultados e verificando qual apresentou melhor eficiência. Inicialmente coletou-se a água bruta na CODAU que faz a captação no Rio Uberaba, sendo preparado os extratos ácido, básico e salino com a adição do cacto e em seguida com o sulfato de alumínio. Realizou-se as análises físico-químicas tanto da água bruta como das águas com os coagulantes, sendo as análises de alcalinidade, pH, turbidez, cor aparente, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura. Dos resultados obtidos com os extratos em adição ao cacto, observou-se que a solução ácida apresentou melhores resultados com a dosagem de 34mL conseguindo reduzir a turbidez em 89,7%, enquanto que a básica e a salina apresentaram uma redução de turbidez de 62,15% e 60,27%, respectivamente. Com os extratos em junção ao sulfato de alumínio e ao cacto, os resultados foram mais eficientes, também, com a solução extratora ácida. Essa apresentou remoção de turbidez de 88,2%, enquanto que com os extratos básico e salino, a redução foi de, respectivamente 51,2% e 50,53%. A remoção da turbidez aplicando apenas o sulfato de alumínio foi de 72,48%. Com isso, foi possível concluir que a aplicação da solução extratora ácida como coagulante no tratamento de água apresentou melhores resultados na redução de turbidez, tanto na presença somente do cacto como quando em auxílio ao sulfato de alumínio, porém é necessário alguns estudos para que os resultados encontrados se encaixem dentro dos parâmetros estabelecidos.

Palavras-chave: água, coagulante, cacto, solução, extratora

ABSTRACT

Water is highly important for both life and ecosystem, being an abundant source on the planet. To make it drinkable for society, the solution is a water treatment, where the main function is to remove the present impurities. Among the main stages of this process, we can name the coagulation, flocculation, decanting, filtration and disinfection. During the coagulation stage, a product known as coagulant is used, which makes the present particles in the water to agglomerate, and usually the aluminium sulfate is applied. However, due to problems pointed out in studies, it is necessary to find substitutes or an auxiliary in order to avoid the problems. Although, this study aimed to apply the *Cereus jamacaru* cactus as an auxiliary and substitute to the aluminium sulfate, analysing the results and verifying which showed better efficiency. Initially, the raw water was collected in the CODAU that is captured in the Uberaba River, and the acid, basic and saline extracts were prepared with the addition of the cactus and then with aluminum sulphate. Physicochemical analysis of both raw water and water with coagulants was performed, and the analysis of alkalinity, pH, turbidity, apparent colour, dissolved oxygen, electrical conductivity and temperature. From the results obtained with the extracts in addition to the cactus, it was observed that the acid solution showed better results with a dosage of 34mL, managing to reduce turbidity by 89.7%, while basic and saline showed a turbidity reduction of 62.15% and 60.27%, respectively. With the extracts in conjunction with aluminum sulphate and cactus, the results were also more efficient with the acid-extracting solution. This one showed turbidity removal of 88.2%, while with the basic and saline extracts, the reduction was 51.2% and 50.53% respectively. The turbidity removal applying only aluminum sulphate was 72.48%. Therefore, it was possible to conclude that the application of acid extraction solution as a coagulant in water treatment showed better results in reducing turbidity, both in the presence of cactus alone and when in aid of aluminum sulphate, but some studies are necessary for the results found to fit within the established parameters.

Key words: water, coagulant, cactus, solution, extractor

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Distribuição e características das impurezas presentes nas águas	29
Figura 2 Esquema com as etapas do tratamento de água	30
Figura 3 Sistema de captação de água no rio Uberaba em Minas Gerais	31
Figura 4 Ação do coagulante na água a ser tratada.....	33
Figura 5 Tanque de floculação com agitadores de baixa velocidade	35
Figura 6 Tanque de decantação de fluxo laminar ascendente da ETA da Codau.....	36
Figura 7 Tanque de filtração rápido utilizado na ETA da Codau	37
Figura 8 Centro de armazenamento da Codau, Uberaba-MG	38
Figura 9 Acácia Negra ou Mimosa	42
Figura 10 Moringa oleífera com suas sementes e flores.....	43
Figura 11 Distribuição geográfica da família Cactaceae	45
Figura 12 Cacto Mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i> D.C.) com detalhe do caule	46
Figura 13 Fruto do Mandacaru	46
Figura 14 Etapas da preparação dos extratos: (a) cacto Mandacaru utilizado, (b) corte em partes menores, (c) cacto após trituração, (d) soluções extratoras no agitador, (e) filtração das soluções, (f) armazenagem em vidro âmbar.....	50
Figura 15 Jar-Test Ethik	51
Figura 16 Ensaio no Jar-Test com as soluções extratoras ácida (a), básica (b) e salina (c).....	52
Figura 17 Ensaio no Jar-Test do sulfato de alumínio com as soluções extratoras ácida (a), salina (b) e básica (c)	54
Figura 18 Cor da amostra antes e depois da titulação	55
Figura 19 Amostra com alcalinidade zero	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Remoção da turbidez das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru	59
Gráfico 2 Remoção da turbidez das médias da água bruta e das soluções extratoras.....	61
Gráfico 3 Remoção da turbidez das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru em associação ao sulfato de alumínio.....	64
Gráfico 4 Remoção da turbidez das médias das amostras de água bruta e das soluções extratoras em associação com o sulfato de alumínio.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Doenças relacionadas com a água	22
Quadro 2 Parâmetros do padrão microbiológico da água para consumo humano....	24
Quadro 3 Principais elementos químicos do Universo e da Terra (em %)	25
Quadro 4 Diversos sabores de uma água.....	27
Quadro 5 Principais coagulantes utilizados.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Distribuição de água no globo terrestre.....	21
Tabela 2 Padrão organoléptico de potabilidade da água	23
Tabela 3 Dosagens de sulfato de alumínio	53
Tabela 4 Dosagens das soluções extratoras em adição ao sulfato de alumínio	53
Tabela 5 Análises das águas brutas coletadas	57
Tabela 6 Análises físico-químicas da polpa e casca do fruto do <i>Cereus jamacaru</i> ...	57
Tabela 7 Análises físico-químicas do fruto do <i>Cereus jamacaru</i>	58
Tabela 8 Resultados da turbidez e cor das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru	58
Tabela 9 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora ácida	59
Tabela 10 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora básica.....	60
Tabela 11 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora salina.....	60
Tabela 12 Resultados da turbidez e cor das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru em associação ao sulfato de alumínio.....	64
Tabela 13 Resultados das análises físico-químicas do coagulante sulfato de alumínio	65
Tabela 14 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora ácida + sulfato de alumínio	65
Tabela 15 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora básica + sulfato de alumínio.....	65
Tabela 16 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora salina + sulfato de alumínio.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C – graus Celsius

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETA – Estação de Tratamento de Água

km – Quilômetro

L – Litro

mg – Miligrama

mL – Mililitro

MS – Ministério da Saúde

NBR – Norma Brasileira

NTU – Unidade de Turbidez Nefelométrica

OD – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial da Saúde

PAC – Policloreto de Alumínio

pH – Potencial Hidrogeniônico

rpm – Rotação por Minuto

uH – Unidade Hazen

uT – Unidade de Turbidez

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 GERAL	20
2.2 ESPECÍFICO	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 ÁGUA	21
3.3.1 Tipos de Água	24
3.3.2 Caracterização das Águas	26
3.2 TRATAMENTO DE ÁGUA	30
3.2.1 Captação e Adução	30
3.2.2 Pré-cloração e Pré-alkalinização	31
3.2.3 Coagulação ou Mistura rápida	31
3.2.3 Floculação ou Mistura lenta	34
3.2.3 Decantação	35
3.2.6 Filtração	36
3.2.7 Desinfecção	37
3.2.8 Reservação	38
3.3 COAGULANTES	38
3.3.1 Coagulantes Inorgânicos	38
3.3.1.1 <i>Sulfato de Alumínio</i>	39
3.3.1.2 <i>Cloreto Férrico</i>	39
3.3.1.3 <i>Sulfato Férrico</i>	40
3.3.2 Coagulantes Orgânicos	40
3.3.2.1 <i>Quitosana</i>	41
3.3.2.2 <i>Tanino</i>	41
3.3.2.3 <i>Moringa oleífera</i>	43
3.3.2.4 <i>Mandacaru</i>	44
4. MATERIAIS E MÉTODOS	49
4.1 AMOSTRAGEM	49

4.2 PREPARO DOS EXTRATOS-----	49
4.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO EM “JAR-TEST” -----	51
4.4 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA-----	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	57
6. CONCLUSÃO-----	69
REFERÊNCIAS-----	70

1. INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural com maior abundância na Terra, sendo de extrema importância para a vida e para os ecossistemas, entretanto nos últimos anos vem sendo necessário uma demanda ainda maior devido ao aumento da população (VERAS et al., 2015).

A preocupação começa com as águas superficiais que estão sendo degradadas pelo despejo de compostos tóxicos e com o acúmulo de substâncias, fazendo com que sejam criados programas de monitoramentos a fim de melhorar problemas ligados a questões ambientais (VIEIRA, 2004).

Destaca-se também o uso de maneira irracional e o inadequado tratamento da água, tornando-se fatores importantes para os problemas relacionados à saúde humana no Brasil. Devido a essas falhas que acontece, essa fonte tem servido como transmissor de agentes patogênicos podendo propagar doenças e até mesmo a morte de pessoas (MENDONÇA, 2017).

Faz-se necessário o tratamento convencional dessa água a fim de torná-la potável, removendo impurezas e possibilitando seu consumo para a sociedade. Para auxiliar nesses tratamentos surgiram as Estações de Tratamento de Águas (ETAs) que são importantes estruturas dos sistemas sanitários que têm por finalidade tratar/descontaminar águas de abastecimento (OLIVEIRA; WILLAND, 2010).

As ETAs utilizam de processos físicos e químicos para descontaminação da água. Destaca-se as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH, porém, há tipos de tratamentos que podem conter processos diferentes (LIBÂNIO, 2008).

Muitas das vezes são utilizados os termos floculação e coagulação como sinônimos pelo fato de ambos representarem o processo geral de aglomeração de partículas. Porém, coagulação é a etapa onde se adiciona o agente coagulante para diminuir as forças repulsivas que deixam as partículas em suspensão separadas, fazendo com que a sua sedimentação apresentasse uma velocidade maior. A floculação é a junção dessas partículas, de modo a formar 'flocos' maiores para o processo de sedimentação/decantação (CARDOSO et al., 2008).

Os coagulantes podem ser inorgânicos, destacando-se os sais de alumínio, e os orgânicos, que geralmente são à base de plantas. Porém os coagulantes inorgânicos vêm apresentando algumas desvantagens, como ineficiência em baixa

temperatura, custo elevado, grande produção de lodo e principalmente efeitos prejudiciais à saúde humana, como o Alzheimer. Com isso tem sido feita a sua substituição pelos coagulantes orgânicos, que apresentam origens diferentes sendo em sua maioria natural. Esses apresentam muitas vantagens em relação aos inorgânicos, como ser biodegradável, ter baixa toxicidade, produzir menor volume de lodo, entre outros (OLADOJA, 2015).

O aproveitamento de diferentes espécies de cactos no tratamento de água tem apresentado recente destaque em relação à utilização de coagulantes naturais. Isso acontece devido algumas características como sua composição química e estrutural e seus componentes nutritivos e médicos (ZARA; THOMAZINI; LENZ, 2012).

A espécie *Cereus jamacaru* de *Candolle*, também conhecida como cacto Mandacaru, é uma das cactáceas que tem se destacado como coagulante orgânico no tratamento de água. Trata-se de uma planta típica no Brasil, com grande abundância na região Nordeste, podendo, ainda, ser utilizada para diversas finalidades (SILVA; ALVES, 2009).

Estudos como o realizado por Zara; Thomazini; Lenz (2012) aplicam o polímero extraído do cacto Mandacaru como um auxiliar do coagulante sulfato de alumínio, fazendo com que a sua quantidade utilizada seja diminuída, assim como suas consequências. Além disso, faz com que as propriedades físico-químicas da água apresentem melhores resultados.

A aplicação do cacto Mandacaru como auxiliar tem o princípio de fazer com que ocorra a redução dos problemas gerados pela aplicação do sulfato de alumínio, como a grande geração de lodo e o fato de ser tóxico em altas dosagens estando relacionada com a doença de Alzheimer.

Dessa maneira, o presente trabalho apresenta como objetivo avaliar a eficiência da aplicação do coagulante orgânico auxiliar cacto Mandacaru no tratamento de água, sendo verificada sua eficiência e os resultados obtidos pelas análises físico-químicas.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a eficiência do extrato de cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) como coagulante natural auxiliar no tratamento de água.

2.2 ESPECÍFICO

- Otimizar as dosagens do extrato de cacto Mandacaru, associado e não ao sulfato de alumínio, no processo de coagulação.
- Analisar os parâmetros físico-químicos da água bruta e após a aplicação do coagulante natural auxiliar e principal.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ÁGUA

A água é o componente mais abundante da Terra, sendo essencial para a vida e servindo como suporte indispensável aos ecossistemas. A preocupação com sua qualidade destacou-se no início do século XX, sendo anteriormente avaliada pelos aspectos de cor, odor e sabor (NETO et al., 2017).

Com o aumento da população, deve-se haver uma consciência maior em relação à utilização desse recurso, já que se trata de uma fonte limitada e que é distribuída de maneira desigual. Há fatores que preocupam especialistas e autoridades em relação a esse assunto, como o seu mau uso, a crescente demanda e a poluição dos meios aquáticos, o que prejudica a qualidade da água (VERAS et al., 2015).

No planeta há uma disponibilidade de água doce de apenas 0,8%, sendo que dessa quantidade 97% representam águas subterrâneas e os outros 3% as águas superficiais, porém muitas vezes ela não se apresenta como adequada para consumo humano devido a presença de impurezas que não se adequam aos padrões de consumo (LÉDO et al., 2009). A distribuição de água no planeta está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 Distribuição de água no globo terrestre

LOCALIZAÇÃO	VOLUME (10 ³ Km ³)	PORCENTAGEM (%)
Oceanos	1.370.000	93,94
Águas subterrâneas	64.000	4,39
Gelo	24.000	1,65
Lagos	280	0,019
Água doce	150	-
Água salgada	125	-
Reservatórios	5	-
Umidade do solo	85	0,006
Atmosfera	14	0,001
Rios	1,2	0,0001

Fonte: Adaptado de Ministério da Saúde (2006).

A qualidade da água necessita de atenção tanto pelas autoridades sanitárias quanto pelos consumidores. Quando empregada para consumo humano pode servir como transmissor de agentes patogênicos e substâncias nocivas interferindo

diretamente na saúde da população (MENDONÇA et al., 2017). Essa presença de agentes patogênicos e substâncias na água podem ocorrer por diversos motivos, destacando-se a coleta e tratamento de esgoto, lixiviação, agrotóxicos e lixões, manutenção inadequada dos reservatórios e da rede de distribuição de água (NETO et al., 2017). No Brasil a maioria dos problemas relacionados com a saúde humana está diretamente ligada com o tratamento adequado desse elemento (ZARA, 2012).

Algumas das doenças geradas pelas patologias presentes na água são hepatites A e E, cólera, febre tifoide, doenças entéricas e diarreias. Há dois tipos de doenças relacionadas com a contaminação da água: as de origem hídrica, geradas por substâncias orgânicas ou inorgânicas presentes na água, e as de transmissão hídrica, onde a água é o condutor do agente infeccioso (BEZERRA et al., 2017). Algumas das principais doenças relacionadas com a água encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1 Doenças relacionadas com a água

GRUPO DE DOENÇAS	FORMAS DE TRANSMISSÃO	PRINCIPAIS DOENÇAS	FORMAS DE PREVENÇÃO
Transmitidas pela via feco-oral (alimentos contaminados por fezes).	O organismo patogênico (agente causador de doença) é ingerido.	Diarréias e disenterias, como a cólera e a giardíase; Febre tifóide e paratifóide; Leptospirose; Amebíase; Hepatite infecciosa; Ascariíase (lombriga).	Proteger e tratar as águas de abastecimento e evitar uso de fontes contaminadas; Fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal, doméstica e dos alimentos.
Controladas pela limpeza com a água (associadas ao abastecimento insuficiente de água).	A falta de água e a higiene pessoal insuficiente criam condições favoráveis para sua disseminação.	Infecções na pele e nos olhos, como o tracoma e o tifo relacionado com piolhos, e a escabiose.	Fornecer água em quantidade adequada e promover a higiene pessoal e doméstica.
Associadas à água (uma parte do ciclo da vida do agente infeccioso ocorre em um animal aquático).	O patogênico penetra pela pele ou é ingerido.	Esquistossomose.	Evitar o contato de pessoa com águas infectadas; Proteger mananciais; Adotar medidas adequadas para a disposição de esgotos; Combater o hospedeiro intermediário.
Transmitidas por vetores que se relacionam com a água.	As doenças são propagadas por insetos que nascem na água ou picam perto dela.	Malária; Febre amarela; Dengue; Filariose (elefantíase).	Combater os insetos transmissores; Eliminar condições que possam favorecer criadouros; Evitar o contato com criadouros; Utilizar meios de proteção individual

Fonte: Ministério da Saúde (2006).

Para que a água apresente os padrões de potabilidade estabelecidos, deve-se ser avaliada a qualidade bacteriológica. Para isso são avaliados microorganismos indicadores de poluição fecal que são de extrema importância para essa avaliação microbiológica, como o grupo Coliforme, destacando-se a *Escherichia coli* e a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* (MENDONÇA et al., 2017).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) é o órgão responsável por estabelecer os padrões mínimos de potabilidade da água. No caso do Brasil é o Ministério da Saúde (MS) quem faz os procedimentos de controle e vigilância da qualidade de água para o consumo humano, além do seu padrão de potabilidade, através do Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 (FERNANDES et al., 2008).

Segundo estabelecido na Portaria nº 5, a água para consumo humano é aquela que atende aos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria, e que é destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal.

Dentre esses padrões há alguns requisitos que devem ser obedecidos para que a água seja potável: sensorial, não devendo possuir odor e sabor; física, com aspecto agradável, sem cor e turbidez acima do padrão estabelecido; química, não conter substâncias tóxicas ou nocivas acima do permitido e biológica, com ausência de agentes patogênicos.

A Tabela 2 descreve os padrões de aceitação para que a água esteja adequada para o consumo humano (potável).

Tabela 2 Padrão organoléptico de potabilidade da água

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR MÁXIMO PERMITIDO
Alumínio	mg L ⁻¹	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg L ⁻¹	1,5
Cloreto	mg L ⁻¹	250
Cor aparente	uH ⁽¹⁾	15
1,2 diclorobenzeno	mg L ⁻¹	0,01
1,4 diclorobenzeno	mg L ⁻¹	0,03
Dureza total	mg L ⁻¹	500
Etilbenzeno	mg L ⁻¹	0,2
Ferro	mg L ⁻¹	0,3
Manganês	mg L ⁻¹	0,1
Monoclorobenzeno	mg L ⁻¹	0,12
Odor e Gosto ⁽²⁾	Intensidade	6

Sódio	mg L ⁻¹	200
Sólidos dissolvidos totais	mg L ⁻¹	1000
Sulfato	mg L ⁻¹	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg L ⁻¹	0,1
Surfactantes (como LAS)	mg L ⁻¹	0,5
Tolueno	mg L ⁻¹	0,17
Turbidez ⁽³⁾	uT	5
Zinco	mg L ⁻¹	5
Xileno	mg L ⁻¹	0,3

NOTAS: (1) Unidade Hazen (mg Pt-Co/L); (2) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada; (3) Unidade de turbidez
Fonte: Portaria nº 5 (2017).

Além dos padrões sensoriais, há ainda os padrões microbiológicos com valores máximos permitidos para que se obtenha uma água apropriada para consumo. Esses valores são demonstrados no Quadro 2.

Quadro 2 Parâmetros do padrão microbiológico da água para consumo humano

TIPO DE ÁGUA		PARÂMETRO		VALOR MÁXIMO PERMITIDO
Água para consumo humano		<i>Escherichia coli</i> ⁽¹⁾		Ausência em 100 mL
Água tratada	Na saída do tratamento	Coliformes totais ⁽²⁾		Ausência em 100 mL
	No sistema de distribuição (reservatórios e rede)	<i>Escherichia coli</i>		Ausência em 100 mL
		Coliformes totais ⁽³⁾	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês, poderá apresentar resultado positivo
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês.

NOTAS: (1) Indicador de contaminação fecal; (2) Indicador de eficiência de tratamento; (3) Indicador de integridade do sistema de distribuição
Fonte: Portaria nº 5 (2017).

3.3.1 Tipos de Água

De acordo com a Resolução nº 357/05 a água pode ser dividida em 03 tipos:

- Doces: salinidade menor ou igual a 0,5%;
- Salobras: salinidade maior que 0,5% ou menor que 30%;
- Salinas: salinidade maior ou igual a 30%.

Esses tipos podem ser classificados de acordo com a qualidade requerida para a utilização. As águas doces podem ser classificadas em especial, 1, 2, 3 ou 4. Enquanto as águas salinas e salobras podem ser especial, 1, 2 ou 3.

O abastecimento de água pode ser feito através de algumas fontes naturais, que são essenciais para o sistema ecológico, como a água da chuva, as águas superficiais (rios e lagos) e as águas subterrâneas (aquíferos e mananciais) (PAULOS, 2008).

As águas subterrâneas resultam da infiltração da água proveniente da precipitação e da alimentação direta dos rios e lagos, além de apresentar um teor mais elevado de sais em solução (CLETO, 2008).

A Quadro 3 apresenta os principais elementos químicos presentes no Universo e na Terra, que correspondem aos elementos encontrados com maior facilidade nesse tipo de água.

Quadro 3 Principais elementos químicos do Universo e da Terra (em %)

UNIVERSO	TERRA	CROSTA TERRESTRE	OCEANOS	ATMOSFERA	BIOSFERA
H-77	Fe-35	O-46,6	O-85,8	N-75,5	O-53
He-21	O-29	Si-29,5	H-11	O-23,2	C-39
O-0,8	Si-14	Al-8,2	Cl-1,94	Ar-1,3	H-8,2
C-0,3	Mg-14	Fe-5	Na-1,05	C-9,3x10 ⁻³	N-0,5
Ne-0,2	S-2,9	Ca-3,6	Mg-0,13	Ne-1,3x10 ⁻³	Ca-0,4
Fe-0,1	Ni-2,4	Na-2,8	S-0,09	Kr-0,45x10 ⁻³	K-0,2
Si-0,07	Ca-2,1	K-2,6	Ca-0,041	He-73x10 ⁻⁶	Si-0,1
N-0,06	Al-1,8	Mg-2,1	K-0,039	Xe-40x10 ⁻⁶	P-0,1
Mg-0,06	Na-0,3	Ti-0,57	Br-0,007	H-23x10 ⁻⁶	Mg-0,1
S-0,04	P-0,2	H-0,22	C-0,003	S-70x10 ⁻⁹	S-0,07

Fonte: Cleto (2008).

Dessa fonte de água podem-se citar algumas características:

- Pouca turvação, devido ao processo de filtração natural que a água sofre no solo;
- Baixa contaminação bacteriana, pois os tempos de retenção no solo, a filtração natural e a ausência de matéria orgânica não favorecem o crescimento de microrganismos;
- Baixo índice de cor;

- Elevada dureza, devido ao fato de estarem em contato com formações rochosas (CLETO, 2008).

As águas superficiais compõem grande parte da água utilizada pela humanidade, podendo ser encontrada em rios, lagos e albufeiras. Em sua composição pode haver substâncias químicas, minerais e orgânicas (vegetal ou animal), o que irá depender do tipo de terreno por qual a água escorrerá e como é a poluição da atmosfera em sua volta (PAULOS, 2008).

Como propriedades dessa fonte destacam-se:

- Contaminação bacteriana elevada, devido a descargas de efluentes domésticos e industriais ou ao escoamento de águas utilizadas na agricultura;
- Índice de cor elevado, pois a velocidade de escoamento é pequena, o que favorece o desenvolvimento de algas e o depósito de matéria orgânica responsável por atribuir cor às águas, além de sais dissolvidos;
- Turvação elevada (CLETO, 2008).

3.3.2 Caracterização das Águas

A água deve apresentar uma boa qualidade quando para consumo humano, não acarretando danos à população e não apresentando cor, odor ou sabor. Para tal uma fiscalização rigorosa com diversos parâmetros e em diferentes épocas é fundamental. Esses parâmetros são divididos em 4 tipos de propriedades: sensoriais, físicas, químicas e bacteriológicas.

a. Sensoriais

- i. Cor: resultado das substâncias dissolvidas, devendo essa ser incolor quando a amostra for pura. Dois fatores podem vir a interferir sendo eles o pH, que quanto maior o valor apresentado mais intenso ficará a cor, e a turvação, que deve ser retirada antes de realizar a determinação da cor (BRANDT et al., 2015).
- ii. Odor e sabor: apresentam uma análise um pouco mais complicada, pois irão depender dos sais e gases dissolvidos na água (Quadro 4). O odor não se restringe a um diagnóstico muito rigoroso, porém para o sabor é utilizado uma tabela de acordo com os sais que estão dissolvidos na amostra (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006).

- i. Aspecto: baseado na visão, observando se a água é turva ou límpida e se há alguma tonalidade diferente.
- b. Físicas
- i. Temperatura: tem grande importância pois irá determinar a velocidade de uma reação e auxiliará no aparecimento de microrganismos na água.
 - ii. pH: está relacionado com a presença de íons H^+ , podendo deixar a água neutra, ácida ou básica, o que dependerá da concentração do íon. Em águas neutras a concentração de íons H^+ e OH^- serão iguais, apresentando valor de pH igual a 7 ($T=25^{\circ}C$); nas ácidas a concentração de H^+ será maior, tendo pH menor do que 7 ($T=25^{\circ}C$), e nas básicas sua concentração será menor, com pH maior que 7 ($T=25^{\circ}C$). Durante seu tratamento há dois fatores que determinam o pH dessa água que são o dióxido de carbono dissolvido e a alcalinidade (CLETO, 2008).
 - iii. Turbidez: irá medir a dificuldade da passagem de luz na água devido a presença de compostos em suspensão, podendo eles ser orgânicos e inorgânicos. Quanto maior for o espelhamento do feixe maior será a turvação, sendo sua unidade expressa em Unidade Nefelométrica de Turvação (NTU). Caso haja presença de turvação, a água pode tornar-se prejudicial para a saúde e sofrer rejeição pela população.

Quadro 4 Diversos sabores de uma água

SAIS DISSOLVIDOS E GASES	SABOR
Cloreto de sódio ($NaCl$)	Salgado
Sulfato de sódio (Na_2SO_4)	Ligeiramente salgado
Bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$)	Ligeiramente salgado e doce
Carbonato de sódio (Na_2CO_3)	Amargo e salgado
Cloreto de cálcio ($CaCl_2$)	Fortemente amargo
Sulfato de cálcio ($CaSO_4$)	Ligeiramente amargo
Sulfato de magnésio ($MgSO_4$)	Ligeiramente amargo em saturação
Cloreto de magnésio ($MgCl_2$)	Amargo e doce
Dióxido de carbono (CO_2)	Ácido

Fonte: Cleto (2008).

- iv. Condutividade elétrica: capacidade de a água transportar corrente elétrica, correspondendo à quantidade de concentração total de substâncias ionizada. Quanto maior o valor da condutividade maior será a quantidade de íons presentes naquela água. Esse parâmetro está relacionado com a

temperatura, havendo seu aumento de acordo com ela (METCALF; EDDY, 2003).

c. Químicas

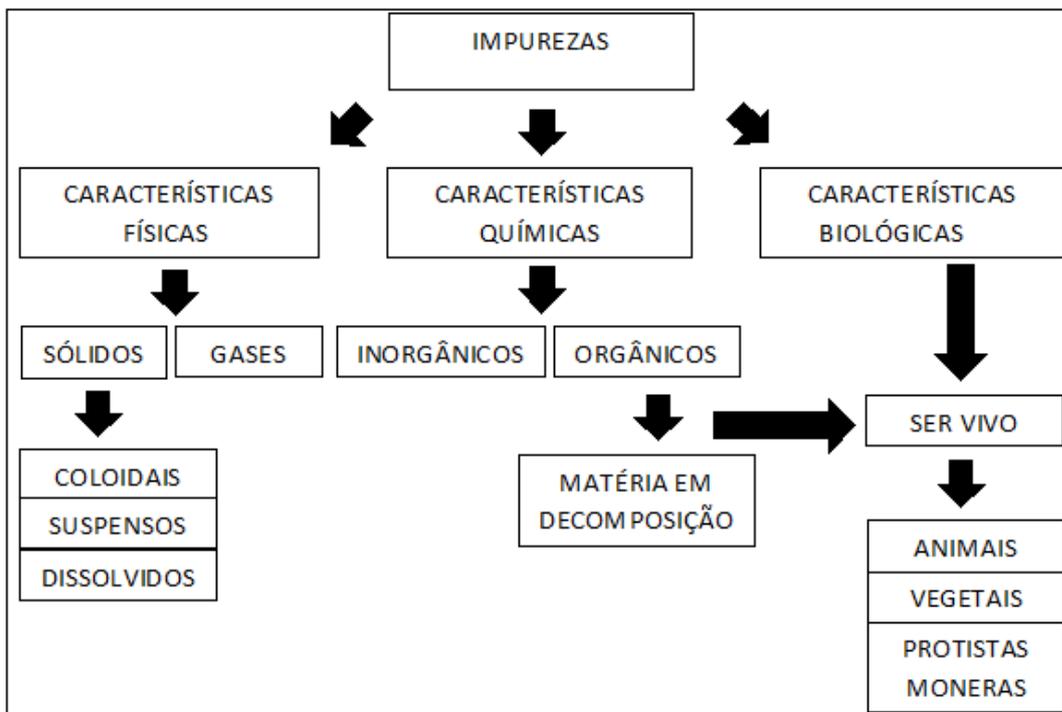
- i. Acidez: capacidade de neutralizar uma base, estando relacionada com a presença de dióxido de carbono. Para consumo humano esse parâmetro não irá causar danos à saúde, podendo fazer bem para problemas renais, porém quando em excesso deixará um gosto desagradável na água (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006), além de provocar corrosão nas tubulações.
- ii. Alcalinidade: irá neutralizar o ácido, ou seja, se trata das substâncias presentes na água que irão agir como tampão. Esse parâmetro ocorre devido a presença de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). Não apresenta risco à saúde humana, podendo apresentar apenas um gosto desagradável (METCALF; EDDY, 2003).
- iii. Dureza: está relacionada com à concentração de íons bivalentes presentes na água, cooperando para isso os íons cálcio, magnésio, estrôncio, ferro e manganês. Não proporciona riscos à saúde humana, porém quando presente em águas industriais pode ocasionar incrustações (CLETO, 2008). Dependendo da concentração de carbonato de cálcio, é possível ter diferentes tipos de dureza:
 - Água muito dura: acima de $300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$;
 - Água dura: entre 150 e $300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$;
 - Água moderadamente dura: entre 75 e $150 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$;
 - Água macia: inferior a $75 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$.
- iv. Oxigênio dissolvido (OD): fará a oxidação da matéria orgânica que compõe a água, sendo imprescindível para a vida aeróbia. A sua quantidade dependerá de outros fatores, porém irá diminuir com o aumento da temperatura e da salinidade (BRANDT et al., 2015).
- v. Demanda química de oxigênio (DQO) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO): representam a presença de matéria orgânica na água, sendo essa responsável pela diminuição da concentração de OD, ocasionando a poluição. A diferença entre elas está no tipo de matéria orgânica estabilizada: a DBO refere a matéria orgânica mineralizada por atividade dos microrganismos (biodegradável), enquanto a DQO abrange também a

matéria orgânica oxidada por processos químicos. Os valores da DQO são sempre maiores do que os da DBO (Ministério da Saúde, 2006).

d. Bacteriológicas

- i. Coliformes: mais conhecidas como bactérias que habitam o intestino de animais, podendo também ser encontradas em outros lugares. Quando presente na água indica um possível contato com dejetos animais ou humanos. Associado ao baixo custo e a facilidade do processo de análise, essas bactérias foram estabelecidas como parâmetro internacional para análise da qualidade da água. Elas em si não são patogênicas, porém sua presença pode indicar a presença de bactérias que causam doenças à população.
- ii. Coliformes fecais: se trata de um subgrupo das bactérias coliformes, que quando presente na água sugere um absoluto contato com os dejetos, ou seja, há chances maiores de existirem naquela água bactérias ou vírus patogênicos, causando problemas à saúde humana (CLETO, 2008).

Figura 1 Distribuição e características das impurezas presentes nas águas



Fonte: Francisco; Pohlmann; Ferreira (2011).

Na Figura 1 é demonstrado um resumo das características física, química e biológica/bacteriológica sobre a distribuição das impurezas presentes na água.

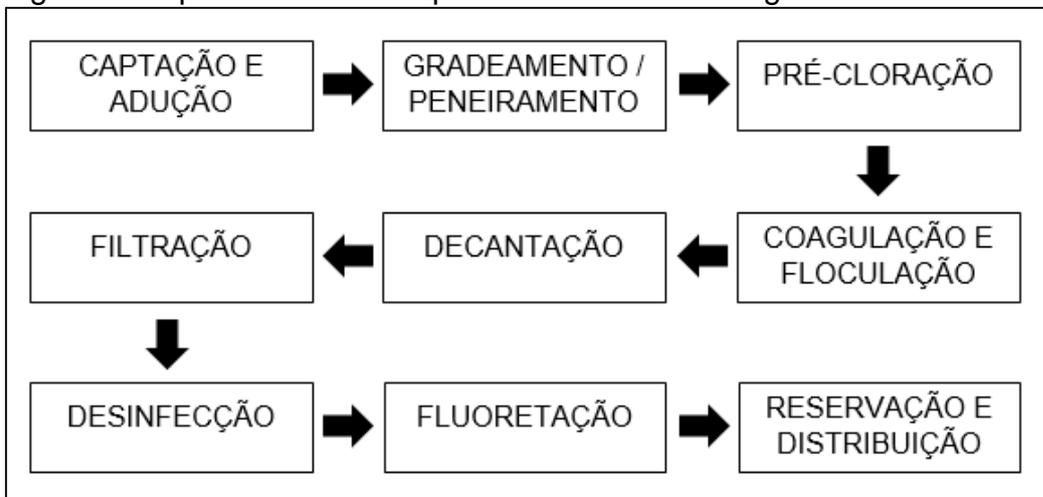
3.2 TRATAMENTO DE ÁGUA

No Brasil existem aproximadamente 7500 estações de tratamento de água, mais conhecidas como ETAs, e esses tratamentos se baseiam praticamente em retirar impurezas, matérias orgânicas, micro-organismos e demais substâncias que possam estar presentes na água, prejudicando a saúde humana (BOTERO, 2009).

Atualmente, há diversos tratamentos para se obter uma água potável, porém a maioria dos tratamentos convencionais constitui-se das seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. Destacam-se nesse processo as etapas de coagulação e floculação, que iniciam o tratamento químico da água, desempenhando influência sobre as próximas fases (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

A Figura 2 demonstra um esquema completo das etapas do processo de tratamento de água, que é realizado pela empresa de saneamento básico do estado de São Paulo, Sabesp.

Figura 2 Esquema com as etapas do tratamento de água



Fonte: Sabesp (2018), adaptado.

3.2.1 Captação e Adução

Inicialmente no processo de tratamento é realizada a captação da água a partir de uma fonte natural, como rios, lagos, represas e mananciais, sendo aduzida diretamente para a ETA. A Figura 3 demonstra uma parte dessa etapa.

Figura 3 Sistema de captação de água no rio Uberaba em Minas Gerais



Fonte: Codau (2018).

3.2.2 Pré-cloração e Pré-alkalinização

Nessas etapas são adicionadas substâncias a fim de ajudar na qualidade da água para o processo de tratamento. Na pré-cloração emprega-se o cloro gasoso na água, logo na sua chegada, para melhorar as condições bacteriológicas, remover matérias orgânicas e amenizar a formação de lodo nas outras etapas (CODAU, 2018).

Na pré-alkalinização utiliza-se cal ou soda para realizar o ajuste de pH da água, fazendo com que ele fique com um valor entre 6 e 8, para as fases seguintes.

3.2.3 Coagulação ou Mistura rápida

A etapa da coagulação, também conhecida como mistura rápida, irá desestabilizar as partículas coloidais suspensas, ou seja, é a neutralização de suas cargas negativas, ocasionando sua aglomeração e gerando partículas maiores. Isso ajudará no processo de decantação, fazendo com que o mesmo aconteça com maior velocidade (MATOS et al., 2007).

Entre os objetivos dessa metodologia, pode-se destacar:

- Retirada de turvação orgânica ou inorgânica que não pode sedimentar rapidamente.
- Remoção da cor verdadeira e aparente.
- Eliminação de bactérias, vírus e organismos patogênicos susceptíveis de serem separados por coagulação.

- Eliminação de substâncias produtoras de cheiro e sabor (CLETO, 2008).

Para se obter um eficiente processo de coagulação destacam-se alguns fatores que podem influenciar: a dosagem do coagulante; o tempo e a velocidade na mistura rápida; os auxiliares de coagulação; o pH do meio e a dispersão do agente na mistura rápida (FRANCISCO; POHLMANN; FERREIRA, 2011).

A fim de melhorar a eficiência do processo de coagulação e floculação, o gradiente de velocidade e o tempo de agitação devem ser otimizados. Isso ocorre, pois, ao reduzir esses fatores os flocos formados podem apresentar um tamanho menor dificultando a sedimentação, e ao elevar os valores poderá ocorrer a quebra parcial desses flocos, diminuindo o tamanho das partículas formadas e atrasando o processo de sedimentação (REIS, 2017).

O gradiente de velocidade corresponde à diferença de velocidade entre partículas em escoamento e irá variar no interior da câmara de mistura. Tanto o valor do gradiente quanto do tempo de agitação deve ser determinado, preferencialmente, a partir de ensaios realizados em laboratórios (NBR 12216). Esse parâmetro pode ser definido também através da equação 1:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \cdot V}} \quad (1)$$

Na qual,

G = gradiente de velocidade

P = potência dissipada (s^{-1})

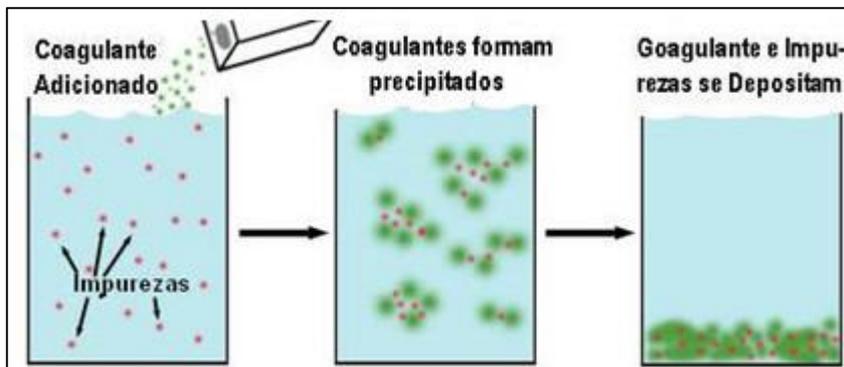
μ = viscosidade absoluta da água ($N \cdot s/m^2$)

V = volume (m^3)

De acordo com a NBR 12216, os ranges de gradientes de velocidade utilizados nas etapas de coagulação e floculação são, respectivamente, $700s^{-1}$ – $1000 s^{-1}$ e $10s^{-1}$ - $70s^{-1}$. O tempo de agitação é de aproximadamente 5 segundos na mistura rápida e 20 a 40 minutos na mistura lenta.

Nessa etapa é utilizada uma substância conhecida como coagulante, sendo geralmente um agente químico, que possui como finalidade desestabilizar as partículas, fazendo com que ocorra essa aglomeração (SOARES et al., 2004). Esses coagulantes apresentam boa eficiência na remoção das impurezas presentes na água (Figura 4).

Figura 4 Ação do coagulante na água a ser tratada



Fonte: Naturaltec (2018).

Para saber o tipo de coagulante a ser utilizado deve ser levado em conta alguns critérios como o seu modo de adequação à água bruta, a tecnologia empregada no tratamento, o custo do coagulante, o custo dos produtos químicos associados e o custo e manutenção dos tanques e dosadores, porém, outro aspecto vem sendo considerado para a escolha do coagulante é o tipo de lodo gerado no tratamento (SANTOS et al., 2007).

Outra opção para obter uma melhor relação entre a dosagem de coagulante e o pH para cada tipo de tratamento deve ser realizado alguns testes laboratoriais. Um dos métodos mais utilizados para conseguir essa resposta é o 'Jar Test' (Teste dos Jarros), que permitirá a formulação de diagramas de coagulação, além de ser bastante útil e apresentar diversas informações, como intensidade e tempo de floculação, sequência de aplicação de reagentes, dosagem ótima de coagulante e outros reagentes, concentração ótima, pH, etc. (RICHTER, 2009).

O Quadro 5 apresenta alguns coagulantes que são utilizados com maior frequência no processo de coagulação.

Quadro 5 Principais coagulantes utilizados

COAGULANTE	FUNÇÃO
Al ₂ (SO ₄) ₃ – Sulfato de alumínio	Cátions polivalentes (Al ⁺³ , Fe ⁺³ , Fe ⁺² , etc.) neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas e os hidróxidos metálicos (Ex: Al(OH) ₃), ao adsorverem os particulados, geram uma floculação parcial.
PAC – Policloreto de alumínio	
FeCl ₃ – Cloreto férrico	
FeSO ₄ – Sulfato ferroso	
Ca(OH) ₂ – Hidróxido de cálcio	Usualmente utilizado como agente controlador do pH. Porém, os íons cálcio atuam também como agentes de neutralização das cargas elétricas superficiais.
Polímeros aniônicos e não-iônicos	Geração de “pontes” entre as partículas já coaguladas e a cadeia do polímero, gerando flocos de maior diâmetro.

Polímeros catiônicos	Neutralização das cargas elétricas superficiais que envolvem os sólidos suspensos e incremento do tamanho dos flocos formados (via formação de pontes). Usualmente utilizado no tratamento de lamas orgânicas.
Policátions	São polieletrólitos catiônicos de baixo peso molecular, os quais possuem como função principal a neutralização das cargas elétricas superficiais e aumento do tamanho dos flocos. Utilizado em substituição aos floculantes inorgânicos convencionais.

Fonte: Carvalho (2008).

Geralmente no processo de tratamento de água os principais produtos a serem utilizados como coagulantes são os sais de ferro e alumínio, por serem economicamente viáveis e se manifestarem ativos na retirada de impurezas (DIAS; DEZOTTI; MASSARANI, 2005).

Os sais de alumínio reagem melhor numa faixa de pH entre 5,0 e 8,0, enquanto os de ferro agem sobre uma ampla faixa de pH. Outro destaque é o tempo de sedimentação, que será mais rápido com o uso de sais de ferro devido aos flocos apresentar maior densidade (MATOS et al., 2007).

Entretanto alguns estudos realizados apontaram que os sais de alumínio vêm demonstrando grandes desvantagens em relação a sua aplicação, como seu uso limitado, a grande quantidade de lodo gerado e o custo um pouco mais alto. Além disso destaca-se o fato do alumínio ser tóxico à saúde humana, podendo levar a doença de Alzheimer (DIAZ; ROA; TORDECILLA, 2014).

Como uma solução para esse problema foi estudado coagulantes naturais para serem utilizados no lugar do alumínio. Esses possuem certos benefícios em relação aos coagulantes químicos como serem biodegradáveis, ter baixa quantidade de metais, produzirem menor quantidade de lodo e não serem tóxicos nem corrosivos (BONGIOVANI et al., 2010).

3.2.3 Floculação ou Mistura lenta

Após formarem as partículas menores na etapa de coagulação, a floculação irá agrupá-las formando partículas maiores, que são denominadas de flocos, ajudando a sua remoção nas etapas seguintes de uma maneira mais rápida e fácil (CLETO, 2008).

Há a necessidade de uma mistura, devendo ela ser lenta para que aconteça o choque entre as partículas ali presentes. Essa mistura poderá ser de dois tipos: hidráulica ou mecanizada (BRAGA, 2014).

A mistura lenta hidráulica apresenta um menor custo de construção e manutenção e um manuseio simples de operação, entretanto em relação aos valores de gradientes de velocidade não há uma flexibilidade adequada, tornando o seu uso inapropriado para ETAs que apresenta águas com grande variação em sólidos totais (FRANCISCO; POHLMANN; FERREIRA, 2011). A Figura 5 representa um tipo de tanque de floculação utilizado pela CODAU, na cidade de Uberaba-MG.

Figura 5 Tanque de floculação com agitadores de baixa velocidade



Fonte: Codau (2018).

3.2.3 Decantação

A decantação é a etapa em que os flocos de impurezas irão sedimentar-se naturalmente através da força gravitacional, o que ocorre devidas suas densidades serem superiores à da água (FRANCISCO; POHLMANN; FERREIRA, 2011).

Nos decantadores ocorrerá o acúmulo das partículas no fundo do tanque, enquanto a água se desloca para a filtração através da parte superior desse tanque (Figura 6). As partículas que ficam depositadas ao fundo, denominada de lodo, são retiradas periodicamente para não atrapalhar o funcionamento do tanque (CLETO, 2008).

As unidades utilizadas nessa etapa são os decantadores, que podem ser de dois tipos: convencional ou de alta taxa (BRAGA, 2014).

Figura 6 Tanque de decantação de fluxo laminar ascendente da ETA da Codau



Fonte: Codau (2018).

3.2.6 Filtração

A filtração é a etapa responsável por remover as partículas presentes na água, através de um meio poroso, composto de diversas camadas de areia com granulometrias diferentes, carvão ou camadas alternadas com ambos, que não foram retiradas nas etapas anteriores. Trata-se de um importante processo físico para a remoção das impurezas, podendo extrair também bactérias e micro-organismos, tornando a água com qualidade (FRANCISCO; POHLMANN; FERREIRA, 2011).

Os filtros podem ser classificados de acordo com suas características (Figura 7), como a tecnologia usada, o tipo de construção, o número de camadas, a direção de escoamento, entre outras (CLETO, 2008).

Como ocorre a constante deposição de flocos no meio filtrante é necessário que realize a lavagem desses filtros com uma frequência maior. Essa lavagem deve ocorrer de forma contra a corrente, contínua ou intermitente (CLETO, 2008).

Figura 7 Tanque de filtração rápido utilizado na ETA da Codau



Fonte: Codau (2018).

3.2.7 Desinfecção

A desinfecção da água consiste na destruição ou eliminação de micro-organismos que possam causar alguma doença. Para realização de tal procedimento pode ser utilizado tanto métodos físicos, como luz solar, radiação ultravioleta (UV) ou calor; quanto químicos, como íons metálicos, ácidos, bases, cloro, ozônio. A eficiência dessa etapa dependerá de alguns fatores como as propriedades da água, o micro-organismo que será inativado e as características do desinfectante (BRAGA, 2014).

Ela pode ainda ser dividida em natural ou artificial. Na natural acontece a morte progressiva das bactérias a partir de agentes naturais, enquanto na artificial é através de agentes físicos e químicos (CLETO, 2008).

Para saber o tipo certo de desinfectante a ser empregado é preciso que eles apresentem as seguintes características:

- Ser tóxico apenas para os microrganismos, causando sua destruição;
- Ser solúvel e formar uma solução homogênea na água;
- Ser eficaz às temperaturas normais da água (de 0 a 25 °C);
- Ser estável, fornecendo concentrações residuais durante largos períodos de tempo;
- Não ser agressivos a metais nem prejudicar outras atividades;
- Apresentar condições seguras de transporte, manuseio, armazenamento;
- Determinar sua concentração na água por experimentos laboratoriais (FRANCISCO; POHLMANN; FERREIRA, 2011).

O produto que se destaca nessa categoria e que atende as características descritas é os sais de hipoclorito (cloro), apresentando vantagens como o baixo custo, boa eficiência e a facilidade de uso (CLETO, 2008).

3.2.8 Reservação

Após o tratamento ser finalizado, a água tratada é armazenada em reservatórios de distribuição e em seguida é transferida para os reservatórios localizados em bairros estratégicos da cidade (Figura 8). A água passará pelas adutoras, que são as tubulações maiores, indo para as redes de distribuição e em seguida para as residências, sendo por fim armazenada em caixas d'água (SABESP, 2018).

Figura 8 Centro de armazenamento da Codau, Uberaba-MG



Fonte: Codau (2018).

3.3 COAGULANTES

3.3.1 Coagulantes Inorgânicos

Entre os diversos coagulantes inorgânicos existentes, aqueles que se destacam por sua utilização são os sais de ferro e alumínio, como cloreto férrico, sulfato férrico e sulfato de alumínio, havendo ainda os sais e óxidos de cálcio, como cloreto de cálcio e cal (PERES, 2005).

Esses apresentam algumas vantagens, como o baixo custo, eficiência comprovada, fácil transporte e manuseio, e desvantagens, como a geração de lodo e não serem biodegradáveis (SANTOS FILHO; RITA, 2002). Além disso, a utilização desses produtos faz com que seja necessária uma correção no pH.

3.3.1.1 Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio é o coagulante mais empregado devido aos bons resultados que apresenta. É obtido a partir da reação entre o H_2SO_4 e o $\text{Al}(\text{OH})_3$, tendo como fórmula molecular $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Os flocos formados por esse coagulante são necessariamente de natureza inorgânica, ou seja, o lodo não entra em decomposição biológica dificultando sua disposição no fim do processo de tratamento (MARCHETTI, 2014).

Seu uso tem formado grande volume de lodo, redução no valor de pH além de apresentar menor eficiência da coagulação em águas frias, e causar impactos ecotoxicológicos quando a lama é introduzida no meio ambiente (OLADOJA, 2015).

Em algumas doses maiores, o sulfato de alumínio passa a ser tóxico e os seus resíduos deixados na água geram um grande impacto à saúde humana, como o mal de Alzheimer (MARCHETTI, 2014).

Quando o alumínio reage com a água, são formadas várias bases da hidrólise, demonstrada nas equações químicas 2 a 5 (PAVANELLI, 2001).



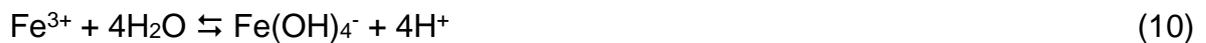
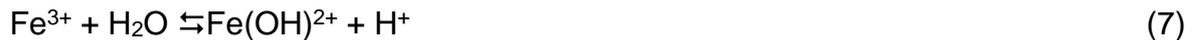
Com a liberação do H^+ , o meio fica mais ácido, por isso o sulfato de alumínio é mais eficiente na faixa de pH 5,5 a 8,5. Para valores fora dessa faixa, os íons de alumínio ficam solúveis e não precipitam (ROSALINO, 2011).

3.3.1.2 Cloreto Férrico

O cloreto férrico apresenta fórmula molecular FeCl_3 , podendo ser vendido na forma líquida ou sólida. É produzido a partir da reação entre o ácido clorídrico e a hematita (Fe_2O_3), seguido dos processos de resfriamento e filtração (PAVANELLI, 2001; SPINELLI, 2001).

Ele é um coagulante adequado na redução da cor, turbidez, sólidos suspensos, DQO, DBO, metais tóxicos, além de conseguir a eliminação de fosfatos. Esse composto atua em uma ampla faixa de pH, produzindo ótimos flocos na faixa de pH 5,0 a 11,0 (KOCHENBORGGER, 2012).

Ao ser acrescentado no efluente, ocorrerá a hidrólise gerando complexos de ferro com cargas positivas. Devido os sais de ferro neutralizarem a carga negativa dos sólidos, acontecerá a floculação (FRANCO, 2009). As reações de hidrólise do cloreto férrico são demonstradas nas equações químicas 6 a 11 (PAVANELLI, 2001).



3.3.1.3 Sulfato Férrico

O sulfato férrico apresenta fórmula molecular $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, podendo ser encontrado tanto em solução quanto na forma granular. É muito utilizado como coagulantes em tratamentos de água.

Ele irá neutralizar as cargas formando hidróxidos insolúveis de ferro. É um composto eficaz que apresenta ampla faixa de pH, pois os hidróxidos gerados possuem baixa solubilidade (PAVANELLI, 2001; SANTOS FILHO; RITA, 2002). Essa reação pode ser representada pela equação química 12.

Devido ao seu alto peso molecular em relação a outros coagulantes, faz com que os flocos no processo de coagulação sejam formados com uma maior rapidez e na sedimentação apresente um tempo reduzido em virtude de sua maior densidade (PAVANELLI, 2001).



3.3.2 Coagulantes Orgânicos

Os coagulantes orgânicos representam alternativas promissoras, pois apresentam boas características como o fato de ser biodegradável, baixa toxicidade e não corrosivo, além de produzir menor volume de lodo e serem mais proveitosos que os produtos químicos (OLADOJA, 2015).

Em alguns países asiáticos, africanos e sul-americanos, certas plantas estão sendo testadas para serem utilizadas como coagulantes naturais, com aplicações em tratamentos de águas para fins potáveis e efluentes (CARDOSO et al., 2008). Alguns destaques são a quitosana, o tanino, a Moringa oleífera e determinados tipos de cactáceos.

3.3.2.1 *Quitosana*

A quitosana é um polímero catiônico linear, com alto peso molecular e de fácil aplicação. É aplicado como coagulante primário em efluentes industriais em diversas finalidades, tendo como princípio a remoção de partículas sólidas, óleos e metais pesados (CALDERA et al., 2011)

Apresenta aplicações generalizadas, sendo que no procedimento de tratamento de águas residuárias oleosas é possível trabalhar com dois mecanismos a partir do seu pó: coagulação e adsorção. Nesse processo a carga positiva das partículas do coagulante irá atrair as cargas negativas das gotas de óleo e sólidos suspensos (PINTOR et al., 2016).

3.3.2.2 *Tanino*

O tanino é extraído da casca da Acácia Negra (*Acacia mearnsii*) ou Mimosa (Figura 9), sendo originária da Austrália e encontrada no Brasil no estado do Rio Grande do Sul. Possui ampla aplicabilidade como nas áreas de anticorrosivos, floculantes, bebidas e plásticos (SILVA, 1999).

Figura 9 Acácia Negra ou Mimosa



Fonte: Silva (1999).

O tanino é representado pela fórmula química $C_6H_5COOC_6H_5$, sendo o grupo carbonila característico “tanígeno” (PELEGRINO, 2011). São compostos fenólicos biodegradáveis com alto peso molecular, podendo formar complexos com proteínas, macromoléculas e minerais (OLIVEIRA; WIILLAND, 2011).

Apresentam algumas características interessantes como o poder de precipitar proteínas e inibir o processo de putrefação. Pode ser dividido em dois grupos: os hidrolisáveis e os condensados ou não hidrolisáveis (COUTINHO, 2013).

Ele atua neutralizando as cargas e formando pontes entre as partículas, processo esse causador da formação dos flocos e da sua seguinte sedimentação. Esse produto atua numa faixa de pH de 4,5 – 8,0, não causando alterações no pH da água tratada (BONGIOVANI et al., 2010).

Uma das vantagens do uso do tanino é o fato dele adsorver os metais dissolvidos na água, como o Cr^{3+} (íon cromo III), Cd^{2+} (íon cádmio II), Cu^{2+} (íon cobre II) e Fe^{3+} (íon férrico), entre outros, aglutinando-os por precipitação no meio permitindo a sua remoção no processo de filtração em seguida (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

Alguns derivados dos taninos têm apresentado eficiência tanto no tratamento de água quanto no de águas residuais, pois há a retirada de sólidos presentes na água (OLIVEIRA; WIILLAND, 2011). No tratamento de água, o lodo gerado

apresenta a vantagem por ser mais denso e fácil de ser desidratado, possibilitando assim um melhor manuseio e disposição final ambientalmente adequada (CORAL; BERGAMASCO; BASSETTI, 2009).

O Tanfloc é um polímero orgânico-catiônico de origem vegetal, sendo produzido pela empresa TANAC, no Rio Grande do Sul na cidade de Montenegro. De acordo com o registro no Ministério da Saúde (1999), o Tanfloc é extraído da casca da *Acacia mearnsii* (Acácia Negra), portanto se trata de um produto natural. Além disso, ele é biodegradável, não consome a alcalinidade do meio, apresenta baixo peso molecular e atua como coagulante/floculante no tratamento de águas de abastecimento e efluentes industriais.

3.3.2.3 *Moringa oleífera*

A *Moringa oleífera* é uma árvore nativa do Norte da Índia, pertencente à família de Moringaceae, que é cultivada em zona tropical, apresentando um acelerado crescimento e resistência a seca (OLADOJA, 2015). Conhecida também como moringa, quiabo-de-quina, lírio-branco, entre outros (Figura 10).

Figura 10 *Moringa oleífera* com suas sementes e flores



Fonte: Teixeira (2012).

Ela pode ser cultivada até 1.400 metros de altitude em diversos tipos de solos, necessitando de poucos cuidados. Seu acelerado desenvolvimento chega a atingir até 12 metros de altura (GUALBERTO et al., 2014).

As suas partes são utilizadas para diversas finalidades, como medicamentos por exemplo. As folhas têm apresentado um grande interesse em projetos de pesquisa, atuando como fonte nutricional para o consumo humano e suplementos alimentares para animais (BHUPTAWAT; FOLKARD; CHAUDHARI, 2007). Em áreas com climas tropicais e subtropicais, as suas sementes e folhas são empregadas como legumes.

As sementes possuem um óleo de boa qualidade e proteínas que agem como coagulantes tanto no tratamento de água para abastecimento como no tratamento de águas residuais. Os elementos fundamentais presentes no óleo das folhas dessa planta são fitol, com 7,66%, pentacosano, com 17,41% e hexacosano, com 11,20% (CHUANG et al., 2007).

A sugestão de aplicar a semente da *Moringa oleífera* como coagulante natural é apropriada por ser biodegradável e ser matéria orgânica (BHUPTAWAT; FOLKARD; CHAUDHARI, 2007).

A aplicação de sementes da *Moringa oleífera* atuando como agente coagulante/floculante é um método muito eficaz. Essa prática possui algumas vantagens em relação a outros produtos como sulfato de alumínio, não necessita de mão de obra qualificada, fácil cultivo e baixa toxicidade (HEREDIA; MARTÍN, 2009). Além de atuar como coagulante, a semente da *Moringa oleífera* também pode ser utilizada para outras finalidades: remoção de poluentes, de metais poluentes, de surfactantes, etc (TIE et al., 2015).

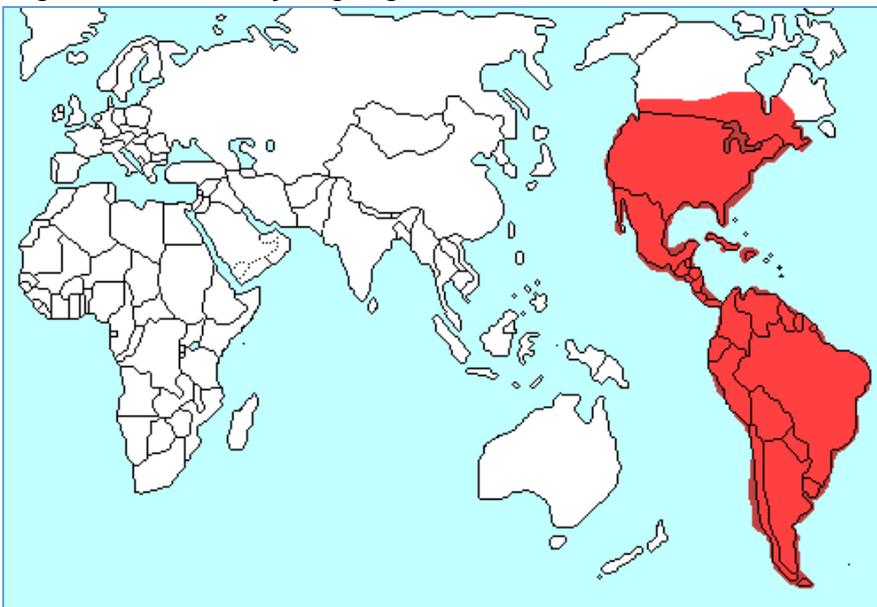
No tratamento de água, uma das vantagens que a semente da *Moringa oleífera* demonstrou foi a eficiência na retirada dos materiais em suspensão, porém esse uso apresentou preocupações, sendo a principal a presença da matéria orgânica residual da semente na água tratada (BHUPTAWAT; FOLKARD; CHAUDHARI, 2007).

3.3.2.4 *Mandacaru*

Os cactáceos têm se destacado como coagulantes naturais empregados no tratamento de água. Os gêneros mais estudados são o *Opuntiae* o *Latifaria*.

A família *Cactaceae* possui mais de 125 gêneros e 2.000 espécies presentes em todo o mundo, principalmente nas regiões secas das Américas (Figura 11). O Brasil é considerado o terceiro maior centro de diversidade desta família, com 35 gêneros e 237 espécies distribuídas em todo o seu território (SALES et al., 2014). Essa família é dividida em três subfamílias: *Opuntioideae*, espécies tipo árvore com folhas e hastes suculentas; *Pereskioideae*, folhas grandes e hastes suculentas e *Cactoideae*, não possui folhas e é a subfamília com maior quantidade de gêneros existentes (DAVET, 2005).

Figura 11 Distribuição geográfica da família Cactaceae



Fonte: Davet (2005).

O gênero *Cereus* pertence à subfamília *Cactoideae* e grupo *Cereoideae*. Caracteriza-se por apresentar caule verde, alongado com gomos longitudinais, flores isoladas grandes e de colorido vistoso. Os frutos são basiformes e, em geral, grandes, além de serem muito apreciados por animais e pelo homem. Está presente desde as Índias até a América do Sul (SALES et al., 2014).

Esse gênero é representado pela espécie *Cereus jamacaru* De Candolle, mais popularmente conhecida como Mandacaru (Figura 12). É uma espécie de cactácea nativa da caatinga e típica da região semi-árida do Nordeste, podendo ser encontrada na Bahia, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Alagoas e Sergipe (SILVA; ALVES, 2009).

Figura 12 Cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru* D.C.) com detalhe do caule



Fonte: Zara; Thomazini; Lenz (2012).

Sua estrutura pode alcançar uma altura de até 10 metros, além de reter uma grande quantidade de água. Apresenta tronco grosso com aproximadamente 60 cm de diâmetro, sendo empregado na fabricação de caixas, portas e janelas, possuindo bastantes ramificações cobertas por espinhos de coloração branca ou marrom-amarelada. Esses são radiais e possuem comprimento entre 9 e 30 cm (CORREIA et al., 2012; SANTANA, 2016).

Suas flores brancas e grandes realizam sua abertura na parte noturna, e frutos graúdos avermelhados com polpa branca e muitas sementes de cor preta (Figura 13), sendo comestível e com sabor fraco, insípido (CORREIA et al., 2012).

Figura 13 Fruto do Mandacaru



Fonte: Cerratinga (2018).

O cacto Mandacaru possui alguns nomes científicos: *Cereus glaucus* Salm-Dyck, *Cereus laetevirens* Salm-Dick, *Cereus lividus* Pfeiffer, *Cactus jamacaru* Kostelezky, *Cereus horribarbis* Otto in Salm-Dick, *Cereus cauchinii* Rebut in schumann, *Piptanthocereus jamacaru* Riccobono, *Piptanthocereus jamacaru cyaneus* Riccobono e *Piptanthocereus jamacaru glaucus* Riccobono. Além dos nomes científicos, há também nomes vulgares comumente utilizados pela população: mandacaru, mandacaru-deboi, manacaru, nhamandacaru, cardeiro, cardeiro-rajado, facheiro, arumbeva e tuna (DAVET, 2005).

A exploração de cactos e plantas suculentas é uma opção viável devido as suas vantagens de dispensar água e de apresentar um baixo custo de cultivo, pois para a multiplicação pode ser realizada tanto por sementes quanto vegetativa (CORREIA et al., 2012).

Possui algumas aplicações, como servir de alimento para animais (bovinos, caprinos e ovinos) na época de estiagem. Seu fruto mesmo sendo encontrado em grande quantidade, não é explorado totalmente, havendo seu desperdício ou sendo utilizado na produção de doces e geleias. Apresenta também algumas propriedades medicinais, podendo ser utilizada em tratamentos de doenças respiratórias e outras (SILVA; ALVES, 2009).

Além disso, possui importante função econômica e ambiental para a Região Nordeste do Brasil, sendo, muitas vezes, um dos poucos recursos de renda para muitas famílias, e, muitas vezes, para o próprio homem, durante o período de seca prolongada (SALES et al., 2014).

O mandacaru consegue se desenvolver nas áreas secas do Nordeste, cobrindo amplas áreas da caatinga. Nessa mesma região há diversas cactáceas importantes para a fauna e flora regional, destacando-se o mandacaru (*Cereus jamacaru*), o facheiro (*Pilosocereus pachycladus*), o xiquexique (*Pilosocereus gounellei*) e a coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis*). A sua distribuição na região Nordeste do país acontece nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia (CAVALCANTI; RESENDE, 2007).

A partir do coagulante natural a base de cactos é possível inferir que os polímeros extraídos do cacto Mandacaru possuem aplicação viável como auxiliares de coagulação e floculação para o sulfato de alumínio, em ensaios realizados em Jar-Test, apresentando boa eficiência em termos de remoção de turbidez da água bruta (NÓBREGA et al., 2017).

No trabalho apresentado por Zara (2012) foi utilizado o polímero do cacto Mandacaru como auxiliar nos processos de coagulação e floculação do tratamento de água. Foi aplicado o polímero extraído com as soluções de HCL 0,01 mol L⁻¹, HCL 0,10 mol L⁻¹, NaOH 0,10 mol L⁻¹ e NaCl 1%. Em comparação ao uso apenas do sulfato de alumínio como coagulante, observou que houve a formação de menor quantidade de flocos, porém com um tamanho maior, apresentando ainda uma sedimentação mais rápida. Com o sulfato de alumínio obteve uma remoção de turbidez de 88% aplicando a dosagem de 3 mL, enquanto com o extrato o melhor resultado foi 93,5%, sendo a solução de NaOH.

Balbinoti (2018) empregou como coagulante o extrato das sementes de *Moringa oleífera* com a finalidade de remover a turbidez e a cor da água de baixa turbidez. Foi adotado como gradiente de mistura rápida e lenta, respectivamente, 1000 s⁻¹ e 25 s⁻¹, com tempo de mistura de 10 s e 15 min. Para as águas com turbidez 10 uT obteve-se um melhor resultado da remoção com a dosagem de 10 mg L⁻¹ do coagulante, equivalente a 64% de remoção, enquanto para as águas com turbidez 20 uT, a melhor dosagem foi de 20 mg L⁻¹, removendo 78,2% da turbidez.

O trabalho apresentado por Skoronski (2014) tinha como objetivo utilizar o tanino como coagulante no tratamento de água do Rio Tubarão, em Santa Catarina. Coletou-se 5 amostras de água bruta do rio, sendo as dosagens de coagulantes empregadas de 1, 2,5, 5, 7,5 e 10 mg L⁻¹, com mistura rápida e lenta de 100 rpm por 1 min e 30 rpm por 10 min, respectivamente. As amostras com dosagem de 2,5 mg L⁻¹, foram as que apresentaram melhores resultados, alcançando valores de turbidez nula e cor aparente de 5,4 uC. De acordo com a Portaria nº 2914, referência utilizada no trabalho, os valores exigidos para a turbidez e a cor aparente são de 5 uT e 15 uC, e os resultados encontrados no trabalho foram abaixo desse limite.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AMOSTRAGEM

Para a realização deste trabalho, as amostras de água foram coletadas diretamente na Estação de Captação de Água de Uberaba, a CODAU, que está localizada as margens do Rio Uberaba.

O Rio Uberaba pertence a bacia hidrográfica do Rio Grande contando com uma área de 2.346 km² e 150 km de extensão. Situa-se entre os paralelos 19° 30' e 19° 45' de latitude sul e os meridianos de 47° 38' e 48° 00' a oeste de Greenwich. Abrange os municípios de Uberaba, Veríssimo, Conceição das Alagoas e uma parte de Planura. Atualmente é a principal fonte de abastecimento (95%) de água para a cidade de Uberaba, retirando-se diariamente uma vazão de 0,9 a 1,2 m³/s (PREFEITURA DE UBERABA).

As amostras de água foram coletadas em galões de propileno, sendo a quantidade de aproximadamente 60 L. Em seguida foram armazenados em temperatura ambiente para a realização das análises.

4.2 PREPARO DOS EXTRATOS

A metodologia aplicada foi a proposta por ZARA et al. (2012), sendo realizada algumas adaptações para este estudo.

O cacto foi comprado em uma floricultura na cidade de Uberaba. As análises foram realizadas nos laboratórios de química da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, o ICTE I, da CODAU e da Universidade de Uberaba – Uniube.

Foram preparados seis tipos de extratos, três que consistem no extrato do cacto com soluções ácida, básica e salina, e três que é a junção dessas soluções extratoras com o sulfato de alumínio.

Inicialmente, realizou-se a preparação do extrato de cacto Mandacaru, sendo dividida em duas etapas: a primeira consiste na preparação do cacto, e a segunda é a sua extração com soluções. Essas etapas foram demonstradas na Figura 14.

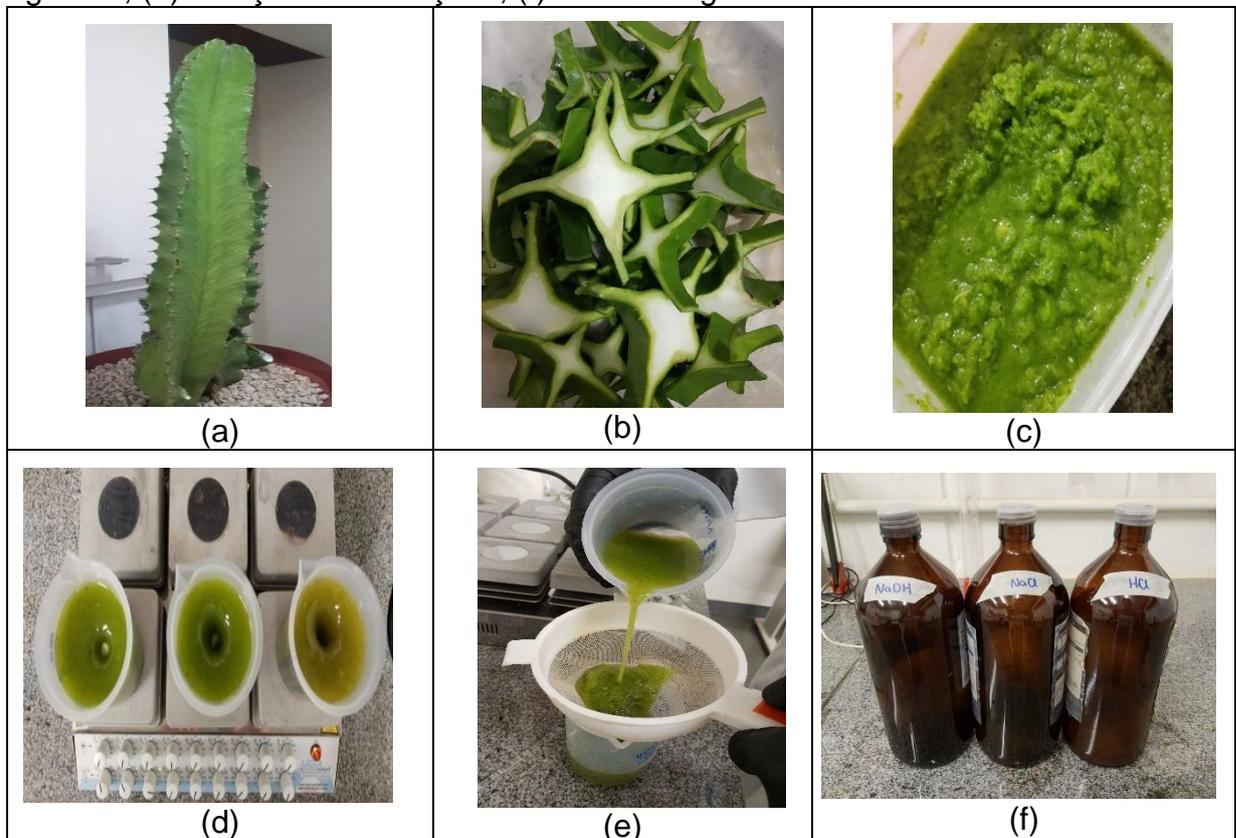
A preparação do extrato de cacto iniciou através da sua limpeza, que consistiu na retirada de seus espinhos e no corte em pedaços menores. Pesou-se a quantidade de cactáceo obtida, encontrando 708 gramas, e triturou no liquidificador. Devido a consistência do material, acrescentou-se água para facilitar esse processo,

utilizando a quantidade de 10 mL para cada 75 g de cacto ($7,5 \text{ g mL}^{-1}$), conforme metodologia proposta por MELO (2017). O material foi armazenado em refrigeração até sua aplicação.

No preparo das soluções extratoras utilizou-se as soluções empregadas por OSTROWSKI (2014): HCl 0,1M, NaOH 0,01M e NaCl 1%. A proporção adotada foi de 1g de cacto para 6mL de solução. Preparou-se 1L de cada solução, dissolvendo-se 8,34mL de HCl com pureza 37%, 0,4g de NaOH com pureza 99,60% e 10g de NaCl com pureza 99%.

Em um béquer de 1000mL pesou-se 166,67g do cacto Mandacaru triturado, acrescentando-se 1L das soluções preparadas em seguida. Em seguida colocou-se as mesmas em um agitador magnético múltiplo da marca Splabor por um período de 30 minutos. Após o término, fez-se a filtração com peneira para um béquer e posteriormente armazenado em frascos de vidro âmbar sob refrigeração MELO (2017).

Figura 14 Etapas da preparação dos extratos: (a) cacto Mandacaru utilizado, (b) corte em partes menores, (c) cacto após trituração, (d) soluções extratoras no agitador, (e) filtração das soluções, (f) armazenagem em vidro âmbar



Fonte: do Autor (2019).

Após as soluções extratoras estarem prontas, acrescentou-se o sulfato de alumínio. A solução utilizada nesse trabalho é a mesma que a Codau utiliza no tratamento de água da cidade, possuindo densidade de 1,138 e pH de 1,11. A dosagem a ser empregada foi determinada a partir de pré-testes realizados em agitador magnético. O sulfato de alumínio utilizado foi o comercial 48,57%, sendo realizado a dissolução para se obter 1% v/v.

4.3 ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO EM “JAR-TEST”

Os ensaios de coagulação e floculação foram realizados no Jar-Test da marca Ethik (Figura 15). O aparelho é constituído por 6 jarros com capacidade de 2L cada.

Figura 15 Jar-Test Ethik



Fonte: do Autor (2019).

A água bruta foi coletada em dois dias diferentes (20 e 21 de janeiro de 2019), sendo que havia chovido no dia anterior, a primeira coleta utilizou-se nas análises com o extrato do cacto e a segunda com o sulfato de alumínio e os extratos. Ambas não apresentaram variação nas suas características, sendo realizado as análises após a coleta.

Antes de aplicar os ensaios no Jar-Test, foram realizados pré-testes em agitador magnético, tanto para as soluções extratoras quanto para o sulfato de alumínio. A agitação utilizada na mistura rápida foi de 150rpm por 2 minutos e na mistura lenta foi 30rpm por 15 minutos, deixando em decantação por 30 minutos.

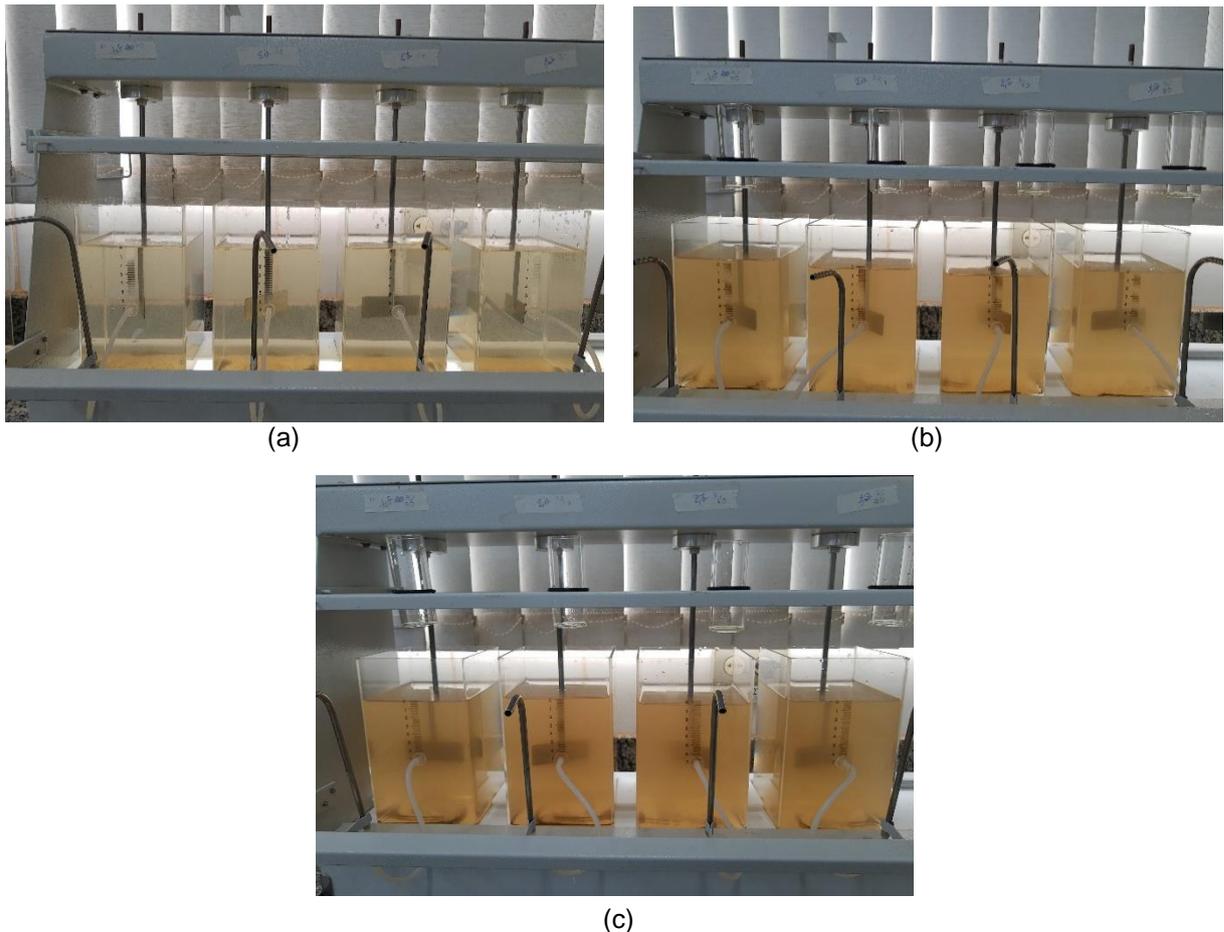
Para a determinação da melhor dosagem de solução extratora que deveria ser empregada no trabalho, realizou-se pré-testes no agitador magnético utilizando

um béquer de 500mL por um período de 30 minutos aplicando-se dosagens baseadas em ZARA (2012) havendo algumas alterações.

Após determinar as dosagens realizou-se os ensaios no Jar-Test, empregando 4 jarros com 2L cada para as soluções extratoras, obtendo 4 resultados diferentes para cada. No extrato ácido encontrou-se no pré-teste um bom resultado de floculação e turbidez com a dosagem de 7mL, estabelecendo-se nos ensaios as dosagens de 30, 32, 34 e 36mL para os ensaios. Porém, com os extratos básico e salino, as amostras não apresentaram floculação nos ensaios, aplicando-se alguns dos valores adotados por OSTROWSKI (2014), sendo eles 0,5, 1, 1,5 e 2mL.

Os resultados de floculação encontrados nos ensaios com o Jar-Test foram demonstrados na Figura 16.

Figura 16 Ensaio no Jar-Test com as soluções extratoras ácida (a), básica (b) e salina (c)



Fonte: do Autor (2019).

Em relação ao coagulante inorgânico sulfato de alumínio, utilizou-se o agitador magnético para encontrar a dosagem com melhor eficiência e fixa-la. As dosagens empregadas do coagulante são demonstradas na Tabela 3.

Tabela 3 Dosagens de sulfato de alumínio

Coagulante	Dosagem (mL)
Sulfato de alumínio	0,5
	1,0
	1,5
	2,0
	2,5
	3,0

Fonte: do Autor (2019).

O teste com dosagem de 2,5mL (1650ppm) foi o que apresentou melhor resultado de floculação e de turbidez, sendo o seu pH de 7,0. Fixando a quantidade de sulfato de alumínio, realizou-se os ensaios no Jar-Test variando apenas a quantidade dos extratos ácido, básico e salino. Nessa etapa foram utilizados os 6 jarros de 2L cada, obtendo 6 resultados diferentes para cada coagulante.

A diferença de quantidade de jarros empregados para as soluções extratoras ácida, básica e salina e para as mesmas em adição ao sulfato de alumínio ocorre devido ao range de dosagem.

As dosagens utilizadas nas soluções extratoras em adição ao sulfato de alumínio foram baseadas no valor aplicado no pré-teste com o agitador, sendo esses valores representados na Tabela 4.

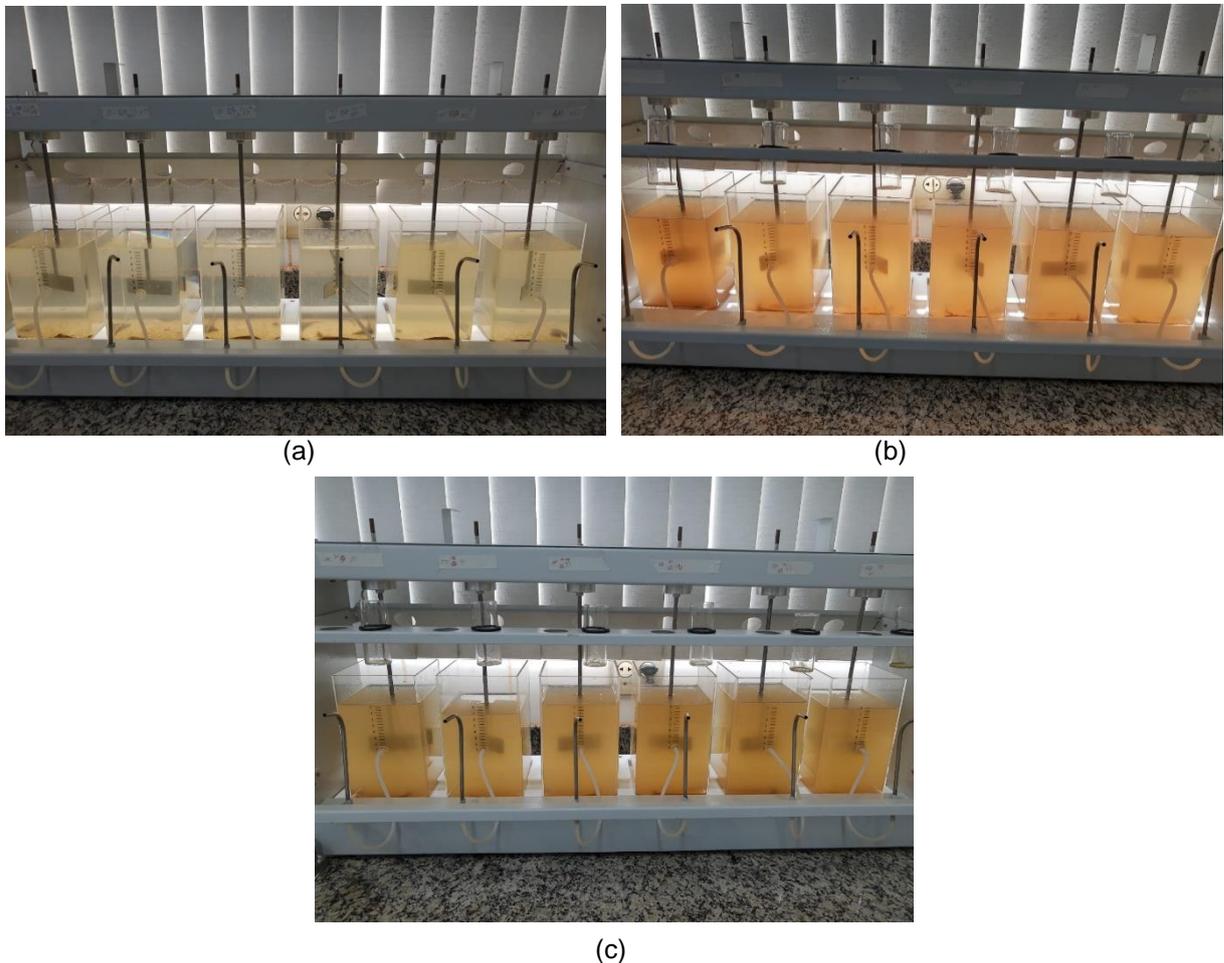
Tabela 4 Dosagens das soluções extratoras em adição ao sulfato de alumínio

Coagulante	Dosagem (mL)
Solução extratora ácida	18
	20
	25
	30
	35
	40
Solução extratora básica	20
	25
	30
	35
	40
	45
Solução extratora salina	30
	32
	34
	36
	38
	40

Fonte: do Autor (2019).

Os resultados de floculação encontrados nos ensaios com o Jar-Test foram demonstrados na Figura 17.

Figura 17 Ensaio no Jar-Test do sulfato de alumínio com as soluções extratoras ácida (a), salina (b) e básica (c)



Fonte: do Autor (2019).

Ao término de todos os ensaios, tanto no agitador quanto no Jar-Test, foram analisadas a turbidez e a cor aparente de todos os ensaios para determinar qual deles apresentou uma melhor eficiência, predominando os resultados obtidos no primeiro parâmetro, e em caso de igualdade, observa-se o segundo.

4.4 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA

Todas as análises físico-químicas foram realizadas nas águas brutas e nas mesmas com a adição dos coagulantes preparados. Todas foram realizadas conforme as técnicas do manual de Parron; Muniz; Pereira (2011) e da Funasa (2006).

a) Alcalinidade

$$\text{Alcalinidade total} = T \cdot 10 \cdot Fc$$

(13)

Sendo:

T = volume de H₂SO₄ utilizado na titulação (mL)

Fc = fator de correção, sendo adotado o valor de 1,020

Figura 18 Cor da amostra antes e depois da titulação



Fonte: do Autor (2019).

b) Turbidez

Para a determinação da turbidez foi utilizado o turbidímetro da marca Hach modelo 2100Q. Uma amostra de água foi colocada em uma cubeta de vidro e inserida no aparelho em seguida para a realização da leitura. O resultado obtido é expresso em NTU (Unidade de Turbidez Nefelométrica).

c) pH

O pH foi determinado com o emprego do pHmetro de bancada da marca Knick modelo Portavo 904. O aparelho foi ligado e esperou-se a sua estabilização. Após calibrar com as soluções padrão (pH 4 e 7), sendo introduzido o eletrodo em um béquer de 250mL com a amostra a ser examinada, sendo realizado a leitura.

d) Oxigênio dissolvido (OD), Condutividade Elétrica e Temperatura

O oxigênio dissolvido, a condutividade elétrica e a temperatura foram realizados em um medidor de bancada multiparametros da marca Hach modelo HQ440d. Ele mede diversos parametros como pH, condutividade elétrica,

temperatura, OD, salinidade, STD e DBO.

O resultado de OD é expresso em mg/L, a temperatura é em °C, enquanto que a condutividade é em Siemensm, sendo representada comumente nos seus sub-multiplos (mS/cm, uS/cm dS/m, etc). Calibrou-se o equipamento inicialmente, colocando a amostra em um béquer de 250mL e inserindo o eletrodo na mesma, aguardando a realização da leitura e fornecendo os resultados.

e) Cor aparente

A cor aparente foi determinada utilizando o colorímetro portátil da marca Digimed modelo DM-COR. Calibrou-se o aparelho, colocando uma amostra de água em uma cubeta de vidro e inserindo no aparelho para a realização da leitura. O resultado é representado pela escala platina-cobalto (Pt-Co) ou unidade Hazen (uH) em mg L⁻¹.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram feitas três coletas da água bruta em dias diferentes, realizando-se as análises em ambas amostras e registrando os resultados conforme a Tabela 5.

Tabela 5 Análises das águas brutas coletadas

PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA I	ÁGUA BRUTA II	ÁGUA BRUTA III
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	29,172	30,4	27,54
Turbidez (NTU)	170	163	42
pH	7,26	7,56	6,82
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	9,08	8,95	11,02
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	60	91,6	340
Temperatura (°C)	22,1	22,7	26
Cor aparente (mg L ⁻¹)	165	163	1

Fonte: do Autor (2019).

Nota-se que os valores das duas primeiras águas coletadas foram próximos, não havendo uma divergência significativa, enquanto a terceira apresentou valores que se destacam. Isso pode ser justificado pela data realizada das coletas, pois as águas brutas I e II foram coletadas no mês de janeiro, um mês em que houve grande quantidade de chuva na cidade, inclusive nos dias em que se realizou as mesmas, entretanto a água bruta III foi coletada no mês de julho, mês em que não houve chuva, em que o tempo estava mais seco, o que pode interferir nos parâmetros das amostras.

Da Silva (2009) realizou uma análise físico-química tanto da polpa quanto da casca dos frutos do cacto Mandacaru. Os resultados encontrados por ele foram demonstrados na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 Análises físico-químicas da polpa e casca do fruto do *Cereus jamacaru*

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	POLPA	CASCA
pH	4,40	4,42
Sólidos solúveis (SS)	11%	5%
Açúcares redutores	5,76%	1,53%
Ácido ascórbico (mg/100g ⁻¹)	100	80

Fonte: Da Silva (2009).

Bahia (2010) também realizou uma caracterização dos frutos do mandacaru, porém com um conjunto de análises mais completas como observado na Tabela 7.

Tabela 7 Análises físico-químicas do fruto do *Cereus jamacaru*

ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	POLPA DO FRUTO
pH	4,6
Sólidos solúveis (SS) (°Brix)	14,1
Açúcares redutores (%)	10,4296
Açúcares não-redutores(%)	2,9352
Umidade (%)	83,29
Fibra (%)	0,88
Pectina (%)	4,36
Gordura (%)	12,4333
Ferro (mg/100g)	0,6
Cinzas totais (%)	0,4814

Fonte: Bahia (2010).

Oliveira et al. (2004) em seus estudos obteve valor de pH de 4,52, que comparados aos das tabelas anteriores, está entre os resultados encontrados. Em relação ao teor de açúcar redutor ele obteve um menor valor na polpa (0,2110) do que na casca (9,54). Dos Santos Neto (2019) encontrou para o fruto do Mandacaru um pH de 3,73, acidez titulável de 0,22 g 100 g⁻¹, sólidos solúveis de 11,03%, umidade de 85,79% e cinzas totais de 0,42%.

Na primeira etapa do trabalho, que utilizou apenas as soluções extratoras do cacto Mandacaru, ao realizar os testes de coagulação e floculação no Jar-Test, observou-se que o coagulante com a solução ácida possuiu uma boa floculação em praticamente todas as amostras, enquanto que os coagulantes com as soluções básica e salina não obtiveram uma floculação com nenhuma dosagem aplicada.

Na Tabela 8 é demonstrado os valores de turbidez e cor das amostras das soluções extratoras do cacto Mandacaru. Esses parâmetros foram os principais para a determinação de qual amostra apresentou melhor eficiência.

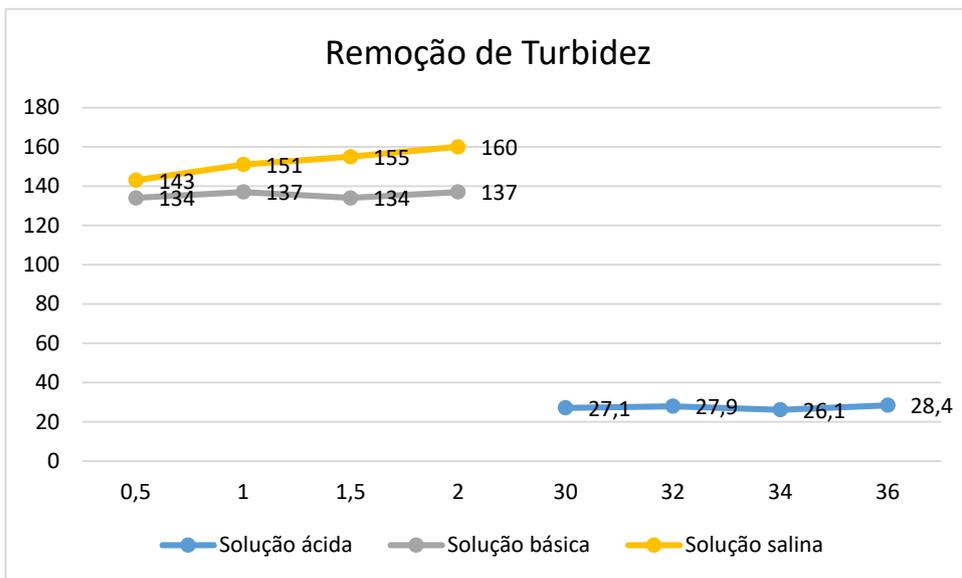
Tabela 8 Resultados da turbidez e cor das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru

COAGULANTE	DOSAGEM (mL)	TURBIDEZ (NTU)	COR APARENTE (mg L⁻¹)
Solução ácida	30	27,1	38,9
	32	27,9	48,5
	34	26,1	35,9
	36	28,4	44,2

Solução básica	0,5	134	148
	1,0	137	143
	1,5	134	144
	2,0	137	143
Solução salina	0,5	143	150
	1,0	151	152
	1,5	155	155
	2,0	160	156

Fonte: do Autor (2019).

Gráfico 1 Remoção da turbidez das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru



Fonte: do Autor (2019).

De acordo com a Tabela 8 e o Gráfico 1, pode-se observar que do coagulante com a solução ácida o que teve melhor eficiência na redução de turbidez foi a de dosagem 34mL, com a solução básica foi a de 1,5mL e com a solução salina foi a de 0,5mL. Após esses principais parâmetros, realizou as demais análises descritas no trabalho com essas 3 amostras, sendo feita em triplicata.

Os resultados das análises de alcalinidade, turbidez, pH, OD, condutividade elétrica, temperatura e cor aparente realizadas foram apresentadas nas Tabelas 9, 10 e 11.

Tabela 9 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora ácida

Parâmetros	Repetição		
	1	2	3
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	0	35,35	30,91
Turbidez (NTU)	26,1	6,41	6,15
pH	1,99	4,27	3,63

Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	9,32	9,64	10,17
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	4,49*	431	309
Temperatura (°C)	19,8	27	27
Cor aparente (mg L ⁻¹)	35,9	0,006	0,011

* Valor encontrado com a unidade mS/cm
Fonte: do Autor (2019).

Tabela 10 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora básica

Parâmetros	Repetição		
	1	2	3
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	31,62	37,23	0
Turbidez (NTU)	134	4,65	3,33
pH	7,10	6,87	7,60
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	8,61	10,17	10,05
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	70,5	129	83,8
Temperatura (°C)	22,8	27	27
Cor aparente (mg L ⁻¹)	144	0,011	0,010

Fonte: do Autor (2019).

Tabela 11 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora salina

Parâmetros	Repetição		
	1	2	3
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	35,80	0	37,12
Turbidez (NTU)	143	2,57	3,44
pH	7,48	7,23	7,24
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	8,22	10,29	10,51
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	71,2	92,2	193,1
Temperatura (°C)	23,5	27	27
Cor aparente (mg L ⁻¹)	150	0,007	0,010

Fonte: do Autor (2019).

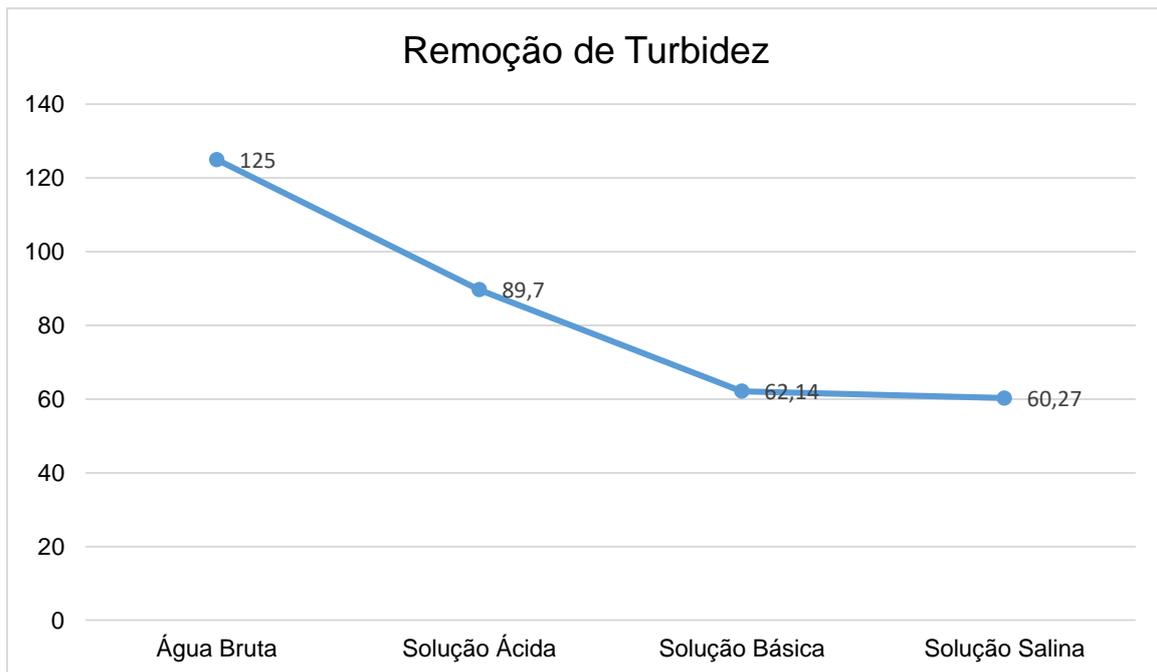
Pode-se observar que na Tabela 9 os valores de turbidez foram baixos e conforme feito as repetições houve sua diminuição. O pH apresentado em todas foi ácido, a condutividade elevada e a primeira repetição teve alcalinidade zero.

Na Tabela 10 o pH é neutro, já a turbidez foi alta no primeiro resultado, diminuindo nos demais. A terceira amostra apresentou alcalinidade zero, enquanto a segunda teve condutividade mais elevada.

Na Tabela 11 também se encontrou um pH neutro, obtendo uma alta condutividade na terceira repetição e uma alcalinidade zero na segunda.

Como foi coletada três amostras de água, realizou-se um média para verificar a remoção da turbidez dos coagulantes aplicados, também efetivando uma média a partir das três repetições. O resultado encontrado foi demonstrado no Gráfico 2, onde se observa que a melhor remoção foi do coagulante com cacto em solução ácida com porcentagem de 89,7%. Os demais apresentaram 62,15% em solução básica e 60,27% em solução salina.

Gráfico 2 Remoção da turbidez das médias da água bruta e das soluções extratoras



Fonte: do Autor (2019).

Goes (2017) optou por utilizar o cacto *Opuntia cochenillifera*, e notou-se que para o processo completo de água os valores de remoção de cor e turbidez foram acima de 85%, valor compatível com os encontrados nesse trabalho para a solução ácida, apresentando remoção de turbidez de 89,7%. Com isso, é importante destacar que os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração são de grande importância para essa remoção.

Ferreira (2019) aplicou como coagulante natural o cacto *Opuntia*, sendo preparado em estado sólido (pulverizado) e extrato do polímero. Nos pré-testes realizados obteve-se que aquele mais eficiente foi o pulverizado, apresentando uma remoção de turbidez de 45,9% e 59% para as dosagens de 30 e 60 mg L⁻¹, respectivamente. Também optou por associar o cacto ao coagulante PAC, utilizando 30 mg L⁻¹, encontrando como melhor resultado a proporção 50:50, que apresentou

eficiência de remoção de 95%. No presente trabalho foi aplicado o extrato de polímero que apresentou remoção de turbidez mais eficientes do que as encontradas por Ferreira (2019), e com dosagens menores do coagulante.

Sousa (2019) preparou os 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⁻¹, sendo aplicado juntamente a esse uma solução alcalinizante (Ca(OH)₂). O extrato ácido de mandacaru apresentou bons resultados de remoção dos parâmetros de turbidez e cor nas amostras. A remoção de turbidez apresentou como resultados dos testes realizados sem auxílio da filtração o percentual mínimo de 56% e máximo de 89%, enquanto para a cor os percentuais foram um pouco inferiores, porém significantes com remoção mínima de 23% e máxima de 67%. No trabalho proposto a remoção de turbidez teve como percentual mínimo 60,27% e máximo 89,7%, enquanto para a remoção de cor os valores mínimo e máximo foram, respectivamente, 43,77% e 89,08%. A aplicação 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%. O extrato ácido de palma apresentou remoção de turbidez de até 80% e 72% de cor sem filtração e com auxílio da filtração estes percentuais também são melhorados para 95% de remoção dos dois parâmetros avaliados. Porém quando se compara esses valores aos outros dois coagulantes aplicados por esse autor, observa-se que os percentuais de remoção são inferiores, principalmente aqueles apresentados sem o auxílio da filtração. O cacto xiquexique apresentou bom desempenho coagulante, com remoção sem o auxílio da filtração de até 87% de turbidez e 78% de cor e já com a utilização da filtração como auxiliar ao tratamento os percentuais são elevados para 98% de turbidez e 96% de cor.

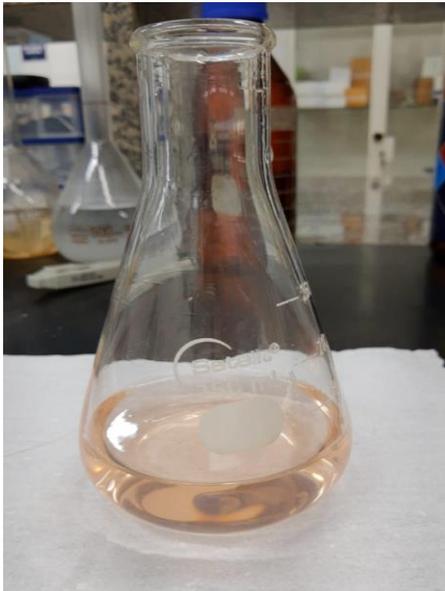
Ribeiro (2010) concluiu que o extrato da *Moringa oleífera* apresenta menores valores de turvação em pH ácido ou neutro. Sua condição ótima é na dose de 80 mg/L e pH igual a 7, no qual apresenta remoção superior a 94%, resultado esse superior ao apresentado nesta pesquisa.

Embora nesse trabalho o coagulante com o cacto Mandacaru em solução extratora ácida tenha apresentado resultados satisfatórios para a remoção de turbidez, há alguns pontos negativos. Entre esses está o pH que está extremamente ácido, necessitando de uma correção que o deixará com um valor mais aceitável e

dentro dos padrões de tratamento. Outro ponto que deve ser analisado é a condutividade elétrica, pois esse mesmo coagulante apresentou valor elevado, o que representa uma grande concentração de íons livres naquela água.

A alcalinidade desse coagulante em uma das repetições também apresentou valor zero, pois ao se adicionar as gotas dos indicadores, a amostra não apresentou coloração azul, ficando rósea diretamente (Figura 19). Isso quer dizer que a amostra não é capaz de neutralizar ácidos fortes, pois ela é muito ácida.

Figura 19 Amostra com alcalinidade zero



Fonte: do Autor (2019).

A segunda parte do trabalho, consistiu em realizar os testes de coagulação e floculação no Jar-Test aplicando como coagulante o sulfato de alumínio associado às soluções extratoras. Os resultados encontrados foram semelhantes em alguns aspectos com os obtidos com o extrato do cacto Mandacaru, pois somente o coagulante com o cacto Mandacaru em solução ácida juntamente com o sulfato de alumínio apresentou floculação. Já os coagulantes em solução básica e salina em junção ao sulfato de alumínio não tiveram tal resultado com nenhuma dosagem aplicada.

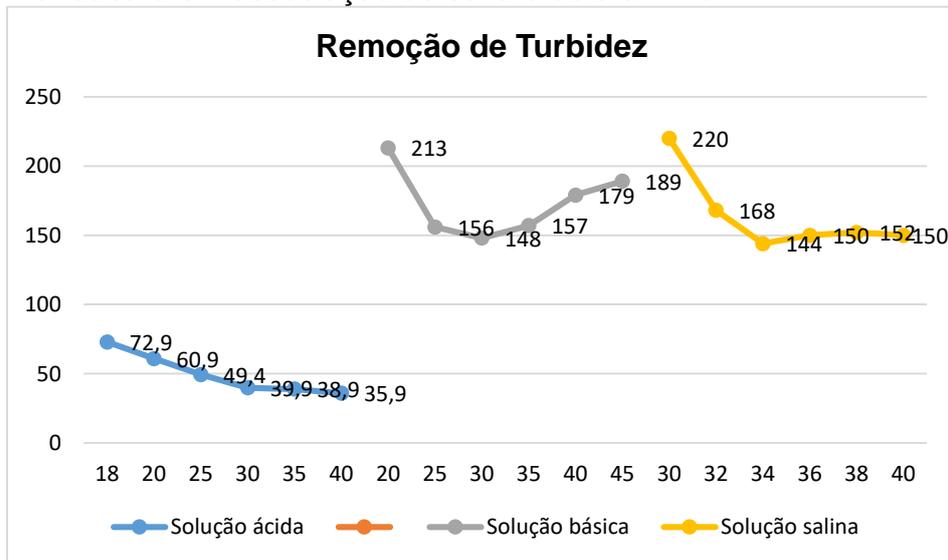
Após fixar a dosagem do sulfato de alumínio em 2,5mL, que foi determinada nos pré-testes com o agitador, variou-se as dosagens das soluções extratoras, conforme demonstrado na Tabela 12, que apresenta os valores de turbidez e cor das 6 amostras dos coagulantes na presença do sulfato de alumínio.

Tabela 12 Resultados da turbidez e cor das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru em associação ao sulfato de alumínio

COAGULANTE	DOSAGEM (mL)	TURBIDEZ (NTU)	COR APARENTE (mg L ⁻¹)
Solução ácida + Sulfato de alumínio	18	72,9	109
	20	60,9	93,4
	25	49,4	73,9
	30	39,9	58,7
	35	38,9	54,6
	40	35,9	55,6
Solução básica + Sulfato de alumínio	20	213	182
	25	156	174
	30	148	179
	35	157	178
	40	179	186
	45	189	188
Solução salina + Sulfato de alumínio	30	220	178
	32	168	167
	34	144	159
	36	150	163
	38	152	161
	40	150	164

Fonte: do Autor (2019).

Gráfico 3 Remoção da turbidez das amostras dos coagulantes com cacto Mandacaru em associação ao sulfato de alumínio



Fonte: do Autor (2019).

De acordo com a Tabela 12 e o Gráfico 3, pode-se observar que do coagulante com solução ácida + sulfato de alumínio a amostra com melhor eficiência na redução de turbidez foi a de dosagem 40mL, na solução básica + sulfato de alumínio foi a de 30mL e na solução salina + sulfato de alumínio foi a de 34mL. Após esses principais parâmetros, realizou-se as demais análises descritas no trabalho com essas amostras em destaque, sendo feitas em triplicata.

Na Tabela 13 é possível ver os parâmetros encontrados para o coagulante inorgânico sulfato de alumínio. Nota-se que o pH obtido foi neutro, enquanto a turbidez não foi um valor tão alto e nem tão baixo.

Tabela 13 Resultados das análises físico-químicas do coagulante sulfato de alumínio

PARÂMETROS	COAGULANTE
	Sulfato de Alumínio
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	16,7
Turbidez (NTU)	34,4
pH	7,00
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	8,42
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	104,2
Temperatura (°C)	23,3
Cor aparente (mg L ⁻¹)	44,9

Fonte: do Autor (2019).

Os resultados das demais análises realizadas foram apresentadas nas Tabelas 14, 15 e 16.

Tabela 14 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora ácida + sulfato de alumínio

Parâmetros	Repetição		
	1	2	3
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	0	0	0
Turbidez (NTU)	35,9	5,29	3,08
pH	3,25	3,66	3,42
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	8,51	10,35	10,05
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	574	1113	1078
Temperatura (°C)	23,4	27	27
Cor aparente (mg L ⁻¹)	55,6	0,012	0,012

Fonte: do Autor (2019).

Tabela 15 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora básica + sulfato de alumínio

Parâmetros	Repetição		
	1	2	3
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	26,93	0	0
Turbidez (NTU)	148	17,3	17,7
pH	7,41	3,6	3,57
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	8,43	9,94	9,94
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	125,7	782	763
Temperatura (°C)	23,2	27	27
Cor aparente (mg L ⁻¹)	179	0,007	0,016

Fonte: do Autor (2019).

Tabela 16 Resultado das análises físico-químicas do coagulante com cacto Mandacaru em solução extratora salina + sulfato de alumínio

Parâmetros	Repetição		
	1	2	3
Alcalinidade (mg L ⁻¹)	37,4	0	0
Turbidez (NTU)	144	23,7	17,8
pH	7,40	3,59	3,62
Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	8,43	10,43	10,34
Condutividade elétrica (uS cm ⁻¹)	0,10	1018	1012
Temperatura (°C)	23,8	27	27
Cor aparente (mg L ⁻¹)	159	0,006	0,006

Fonte: do Autor (2019).

Pode-se observar que na Tabela 14 os valores de turbidez foram baixos e conforme feito as repetições houve sua diminuição. O pH apresentado em todas foi ácido, a condutividade muito elevada nas duas últimas repetições e todas apresentaram alcalinidade zero.

Na Tabela 15 o pH foi neutro na primeira análise, porém nas repetições apresentou valor ácido. Já a turbidez que era alta diminuiu consideravelmente nas demais repetições. Duas amostras apresentaram alcalinidade zero e condutividade mais elevada.

Na Tabela 16 também se encontrou um pH neutro em uma repetição e ácida nas demais. A turbidez foi elevada em uma amostra, diminuindo na demais e a condutividade foi muito elevada. Duas amostras apresentaram alcalinidade zero.

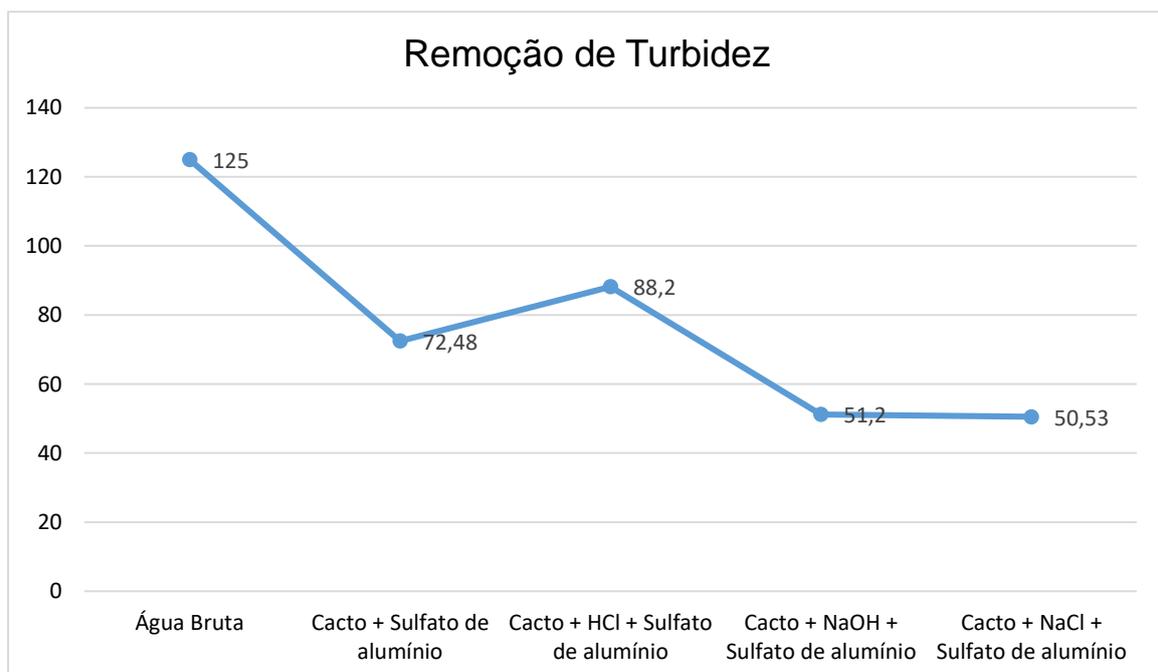
Como foi coletada três amostras de água, realizou-se um média para verificar a remoção da turbidez dos coagulantes aplicados, também efetuando uma média a partir das três repetições. O resultado encontrado foi demonstrado no Gráfico 4, onde se observa que a melhor remoção foi do coagulante com cacto em solução ácida juntamente com o sulfato de alumínio com porcentagem de 88,2%. Os demais apresentaram 51,2% em solução básica com sulfato de alumínio e 50,53% em solução salina com sulfato de alumínio. A remoção utilizando apenas o coagulante orgânico sulfato de alumínio foi de 72,48%, que é um valor menor do que quando empregado o cacto com solução ácida em presença ou não do sulfato de alumínio.

Zara (2012) aplicou o cacto Mandacaru como auxiliar do sulfato de alumínio. A água bruta apresentou pH de 6,2 e turbidez de 17,9 UNT. Após o pré-teste com o

sulfato de alumínio com diversas dosagens, encontrou-se maior eficiência na dosagem de 3mL com 88%, pré-estabelecendo esse valor. Na aplicação do cacto usou-se as soluções de HCl 0,01 mol L⁻¹, HCl 0,10 mol L⁻¹, NaOH 0,10 mol L⁻¹ e NaCl 1%, conseguindo uma remoção de turbidez de 91,1%, 88,2%, 93,5% e 90,7%, respectivamente. Com a adição de HCl houve uma redução no valor de pH, assim como no trabalho realizado, porém o valor encontrado por Zara não foi tão ácido, sendo na faixa de 6,2-6, enquanto com o NaOH e o NaCl o pH teve um pequeno aumento. Os valores apresentados por Zara (2012) foram mais eficientes do que os encontrados por esse trabalho, tanto com as soluções como com o sulfato de alumínio.

Ostrowski (2014), que também utilizou o cacto *Cereus jamacaru*, aplicou as soluções extratoras com NaCl 1%, NaOH 0,01M e HCl 0,1 M. O sulfato de alumínio foi fixado em 3 mL, e os auxiliares em 2 mL o ácido, 1,5 mL o básico e 1,5 mL o salino. A remoção de turbidez obtida em cada um foi, respectivamente, 88,2%, 51,2% e 50,53%. Observa-se que o valor encontrado para o extrato ácido foi o mesmo que o obtido neste trabalho, enquanto para as demais soluções os valores de remoção foram superiores.

Gráfico 4 Remoção da turbidez das médias das amostras de água bruta e das soluções extratoras em associação com o sulfato de alumínio



Fonte: do Autor (2019).

Entre os resultados insatisfatórios do coagulante com a solução ácida + sulfato de alumínio está o pH ácido, necessitando de uma correção que o deixará com um valor melhor e dentro dos padrões de tratamento, a condutividade elétrica que está elevada, demonstrando que há uma concentração de sais dissolvidos naquela água e a alcalinidade que foi zero, não sendo capaz de neutralizar ácidos fortes.

A mucilagem do cacto é um polieletrólito negativo, ou seja, ela apresenta carga negativa, e elevada viscosidade devido as cargas que causam alta repulsão intramolecular, o que irá resultar na expansão das suas moléculas (Ferreira, 2015). Ferreira (2015) em seu trabalho sugeriu que o cacto *O. fícu-s-indica* apresenta melhor resultado de coagulação em águas alcalinas, com pH entre 8-10.

6. CONCLUSÃO

Os coagulantes preparados com o extrato do cacto Mandacaru apresentaram resultados positivos em relação a remoção da turbidez, demonstrando percentuais mais altos do que os coagulantes com as soluções extratoras em associação com o sulfato de alumínio.

Os coagulantes em que foram utilizadas as soluções extratoras ácidas, apresentaram alguns parâmetros, como a alcalinidade, o pH e a condutividade elétrica, com valores que necessitam de ajustes e correções, o que poderá deixar a água mais próxima dos parâmetros exigidos pela Portaria nº 2914, que se aplica a águas potáveis.

Para tentar melhorar mais a remoção da turbidez das amostras pode-se realizar os processos seguintes do tratamento de água, como a filtração e a decantação, que poderá resultar em resultados mais eficientes do que os encontrados até o presente momento, pois segundo Di Bernardo (2002, p. 33) quanto menor for a turbidez resultante pós decantação, mais eficiente serão os processos posteriores.

Com isso é possível perceber que há a possibilidade de diminuir a quantidade do coagulante orgânico sulfato de alumínio empregado atualmente nos tratamentos de água por coagulantes naturais como o extrato do cacto Mandacaru, sendo necessário mais estudos sobre a concentração ideal a ser utilizada e quais modificações podem ser feitas a fim de melhorar os parâmetros que apresentaram resultados fora das normas estabelecidas, fazendo com que a água tratada por esse tipo de coagulante possa se tornar potável e ser utilizada por toda população sem causar prejuízos e doenças.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. ABNT, 1992.

BAHIA, E. V. A. et al. Estudo das características físico-químicas do fruto do mandacaru (*Cereus jamaçaru* DC.) cultivado no sertão pernambucano. In: **Anais do V Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte-Nordeste de Educação Tecnológica**. 2010.

BALBINOTI, Jonas Raul et al. Uso de sementes de Moringa oleifera como agente coagulante para o tratamento de água (Use of Moringa oleifera seeds as a coagulant for the treatment of water). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1748-1760, 2018.

BEZERRA, A. D. A. et al. Análise da potabilidade de água de chafarizes de dois bairros do município de Fortaleza, Ceará. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 8, n. 1, p. 24-34, 2017.

BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G.K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater in incorporating Moringa oleifera seed coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, n. 1-2, p. 477-482, 2007.

BONGIOVANI, M. C. et al. Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**, v. 32, n.2, p.167-170, 2010.

BOTERO, W. G. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola**. 2008. 97 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.

BRAGA, F. P. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água do município de Juiz de Fora – MG**. 2014. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

BRANDT, C.R. et al. Caracterização físico-química da água potável de diferentes prédios do Centro Universitário UNIVATES. **Revista Destaques Acadêmicos**. v.7, n. 4, p. 141-149, 2015.

BRASIL. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, n. sSuplemento, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, 2012.

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

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispões sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Diário Oficial da União**, 2005

CALDERA, Y. et al. Eficiencia Del quitosano como coagulante durante el tratamiento de aguas de baja turbidez asociadas a la producción de petróleo. **Revista Tecnocientífica URU**, n. 1, p.45-52, 2011.

CARDOSO, K. C. et. al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleífera Lam. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2008.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. 177 f. Tese de doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CAVALCANTI, N. B.; RESENDE, G. M. Efeito de diferentes substratos no desenvolvimento de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.), facheiro (*Pilosocereus pachycladus* Ritter), xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (A. Webwrex K. Schum.) Bly. ExRowl.) e coroa-de-frade (*Melocactus bahiensis* Britton & Rose). **Revista Caatinga**, v. 20, n. 1, p. 28-35, 2007.

Cerratinga. Disponível em: <<http://www.cerratinga.org.br/mandacaru/>>. Acesso em 15 Novembro de 2018.

CHUANG, P. H. et al. Anti-fungal activity of crude extracts and essential oil of *Moringa oleífera* Lam. **BioresourceTechnology**, v.98, n.1, p. 232-236, 2007.

CLETO, Catarina I. T. P. **O alumínio na água de consumo humano**. 2008. 87 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Química Industrial), Universidade da Beira Interior, Portugal, 2008.

CODAU. Disponível em: <http://www.codau.com.br/tratamento_agua.htm>. Acesso em 04 de Novembro de 2018.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J.. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. In: **International Workshop - Advances in Cleaner Production**. São Paulo, p. 1-9, 2009.

CORREIA, D. et al. Produção de mudas de Mandacaru. **Embrapa Agroindústria Tropical – Circular Técnica**, Fortaleza, 2012.

COUTINHO, A. **Extração de tanino em folhas, sementes e frutos verdes de cinamomo (*Meliaazedarach* L.) com diferentes tipos de solventes**. 2013.42 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

DAVET, A. **Estudo fitoquímico e biológico do cacto – *Cereus jamacaru* De Candolle, Cactaceae**. 2005. 121 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DA SILVA, Leirson Rodrigues; ALVES, Ricardo Elesbão. Caracterização físico-química de frutos de “mandacaru”. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 7, n. 2, p. 199-205, 2009.

DE ASSIS REIS, Ana Carolina; LUIZ BEGNINI, Mauro; DELALIBERA FINZER, José Roberto. **Tratamento de água: gradiente de velocidade na coagulação-floculação**. 2017.

DI BERNARDO, Luiz; DI BERNARDO, Angela; FILHO, Paulo L. C.; **Ensaio de tratabilidade da água e dos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos: Rima, 2002.

DIAS, A. C. V. ; DEZOTTI, M. ; MASSARANI, G. . Estudo comparativo entre os efeitos do tanino e de um coagulante convencional sobre a filtração rápida usada no tratamento de água para abastecimento. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Campo Grande, p. 1-8, 2005.

DÍAZ, J. J. F.; ROA, S. B.; TORDECILLA, A. M. E. Eficiencia de la semilla *Moringa oleífera* como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú. **Producción + Limpia**, v. 9, n.1, p. 9-22, 2014.

DOS SANTOS NETO, João Paixão et al. Características físico-químicas do fruto do mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC.) cultivado no sertão alagoano. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 7141, 2019.

FERNANDES, I. P. et al. Análise dos processos de uma estação de tratamento de água (ETA): Um estudo de caso. **Engema: X Encontro Nacional de Gestão Empresarial e Meio Ambiente**, 2008.

FERREIRA, Thayse Guilherme. **Avaliação do desempenho do cacto da espécie *Opuntia ficus-indica* como coagulante no tratamento de água**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

FRANCISCO, A. A.; POHLMANN, P. H. M.; FERREIRA, M. A. Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência. In: **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental IBEAS**, 2011.

FRANCO, E. S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 2009. 207 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde (2006). **Manual prático de análise de água**. 2. ed. Rev. Brasília, 146 p.

GOES, H. H. D.; SOUZA, R. C. P.; MELO, J. M.; THEODORO, J. D. P. Estudo da aplicação do cacto *Opuntia cochenillifera* no tratamento de água. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.25; p. 554, 2017.

GUALBERTO, A. F. et al. Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleifera* Lam.): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Paraíba, v. 9, n. 5, p. 19-25, 2014.

HEREDIA, J. B.; MARTÍN, J. S. Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. **Desalination**, v. 249, n.1, p. 353-358, 2009.

KOCHENBORGER, Guilherme. **Tratamento Físico-Químico para Efluente de Cervejaria**. 2012. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, 2012.

LÉDO, P. G. S. et al. Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de *Moringa oleifera* para la depuración de aguas com baja turbiedad. **Información Tecnológica**. Rio Grande do Norte, v.20, n. 5, p. 3-12, 2009.

LÍBANIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 2. ed. Campinas (SP): Átomo, 2008. 444p.

MARCHETTI, T. Tratamento de efluente líquido da indústria de cosméticos com sulfato de alumínio e biopolímero. **Revista da Graduação**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, 20 p., 2014.

MATOS, A. T. et al. Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 544-551, 2007.

MELO, Jessica Muniz de. **Aplicação de polímero orgânico extraído do cacto (*Cereus jamacaru*) como coagulante principal e associado ao sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2017. Bachelor's Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MENDONÇA, Maria Helena Martins et al. Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 3, p. 468-475, 2017.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: Treatment and reuse**. 4. ed. Boston: McGraw-Hill, 2003, 1819 p.

NATURALTEC. Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/Estacao-tratamento-agua.html>>. Acesso em 15 Novembro de 2018.

NETO, W. R. N. et al. Análise da potabilidade das águas dos poços rasos escavados da comunidade do Taim em São Luís – Maranhão. **Águas subterrâneas**, Maranhão, v. 31, n. 3, p. 272-280, 2017.

NÓBREGA, F. A. et al. Desenvolvimento de um sistema de potabilização de água utilizando sementes de umbu e extrato de mandacaru. In: **Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**, Campina Grande, 2017.

Norma técnica Interna SABESP – NTS 004. DQO – Demanda Química de Oxigênio. São Paulo, maio 1997.

OLADOJA, N. A. Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. **Journal of Water Process Engineering**, Nigeria, v. 6, p. 174-192, 2015.

OLIVEIRA, F. M. N. et al. Características físico-químicas da polpa e casca do fruto do Mandacaru. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, 19., 2004, Recife. Anais... Recife: Centro de Convenções de Pernambuco, 2004.

OLIVEIRA, H.M.; WILLAND, E. F. Efeito da água tratada com sulfato de alumínio e com o polímero natural (tanato quaternário de amônio) em planárias a fim de identificar novos organismos testes. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, v. 1, n. 9, 2011.

OSTROWSKI, Juliana. **Utilização de extrato de cacto Cereus jamacaru como coagulantes auxiliares para a diminuição de turbidez da água de turbidez sintética**. 2014. Bachelor's Thesis. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. **Colombo: Embrapa Florestas**, 2011.

PAULOS, E. M. S. **Qualidade da água para consumo humano**. 2008. 110 f. Dissertação (Mestrado em Química Industrial), Universidade da Beira Interior, Portugal, 2008.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PELEGRINO, E. C. F. **Emprego de coagulante à base de tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação**. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

PERES, S. D. **Técnicas aplicadas ao tratamento e redução dos efluentes líquidos de uma empresa de saneantes domissanitários**. 2005. 113 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Ambiental e Tecnologias

Limpas)–Escola de Engenharia, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2005.

PINTOR, A. M. A. et al. Oil and grease removal from wastewaters: Sorption treatment as an alternative to state-of-the-art technologies. A critical review. **Chemical Engineering Journal**, v. 297, p. 229-255, 2016.

PREFEITURA DE UBERABA CODAU – Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba. **Projeto água viva relatório ambiental**. Uberaba – MG, s.d. Acesso em: 28 março 2020. Disponibilidade: <http://uberaba.mg.gov.br/portal/acervo/agua_viva/arquivos/avaliacao_ambiental/Relatorio%20Ambiental%201.pdf>. s.d.

RIBEIRO, Ana Teresa Alves et al. **Aplicação da Moringa Oleifera no tratamento de água para consumo humano**: remoção de poluentes por coagulação-floculação. Dissertação – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. Editora Blucher, 2009.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SABESP. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47>>. Acesso em 04 de Novembro de 2018.

SALES, M. S. L. et al. *Cereus jamacaru* de candolle (Cactaceae), o mandacaru do Nordeste Brasileiro. **Publicação UEPG: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 20, n. 2, p. 135-142, 2014.

SANTANA, A. F. **Composição química e atividades antioxidante e biológica das frações clorofórmica e hidrometanólica do extrato da raiz de *Cereus jamacaru* DC. (Cactaceae)**. 2016. 116 f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

SANTOS FILHO, J. D.; RITA, E. S. S. **Gerenciamento do resíduo gerado na clarificação de água da RLAM**. 2002. 54 f. Monografia (Especialização em Gerenciamento e Tecnologia Ambientais na Indústria), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2002.

SANTOS, E. P. C. C. dos et al. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Eng. Sanitária Ambiental**, vol.12, n.4, p. 361-370, 2007.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. Avaliação da composição físico-química de frutos de mandacaru (*Cereus jamacaru* P.). **Acta Agronômica**, v. 58, n. 4, p. 245-250, 2009.

SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 87 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública), Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, São Paulo, 1999.

SKORONSKI, Everton et al. Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 4, p. 679-687, 2014.

SOARES, H. M. et al. **Teste dos jarros**. Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SOUSA, Karina Michely Leite de. **Estudo dos coagulantes naturais cereus jamacaru, opuntia ficus-indica e pilosocereus gounellei como pré-tratamento para desinfecção solar**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Brasil.

SPINELLI, V. A. **Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável**. 2001. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

TEIXEIRA, A. C. **Moringa oleífera, a árvore milagrosa: fotos**. Terra Gaia, 2012. Disponível em <<https://terraGaia.wordpress.com/2012/01/30/a-arvore-milagrosa-fotos/>>. Acesso em 15 Novembro de 2018.

TIE, J. et al. A comparison between Moringa oleifera seed presscake extract and polyaluminum chloride in the removal of direct black 19 from synthetic wastewater. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 530-534, 2015.

VERAS, R. S. et al. Aplicação de um modelo matemático para estudar a qualidade de água do rio Piranhas-Açu/RN tomando como referência os parâmetros DBO e coliformes termotolerantes. **Revista Tecnologia**, v. 36, n. 1/2, p. 64-78, 2015.

VIEIRA, F. C. S. **Toxicidade de hidrocarbonetos monoaromáticos do petróleo sobre Metamysidopsis elongata atlantica (Crustacea: Mysidacea)**. 2004. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

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. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 75-83, 2012.