

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VINÍCIUS FRÖNER LACERDA

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE *Cereus jamacaru* COMO AGENTE
COAGULANTE AUXILIAR AO SULFATO DE ALUMÍNIO**

FRANCISCO BETRÃO

2021

VINÍCIUS FRÖNER LACERDA

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE *Cereus jamacaru* COMO AGENTE
COAGULANTE AUXILIAR AO SULFATO DE ALUMÍNIO**

**EVALUATION OF *Cereus jamacaru* EXTRACT AS A COAGULANT
ASSISTANT TO ALUMINUM SULFATE**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Ambiental do Departamento Acadêmico de Engenharia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador(a): Profa . Dra . Thalita Grando Rauen

FRANCISCO BETRÃO

2021

VINÍCIUS FRÖNER LACERDA

**AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE *Cereus jamacaru* COMO AGENTE
COAGULANTE AUXILIAR AO SULFATO DE ALUMÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

15 de setembro de 2021

Talitha Grando Rauen
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Maria Helene Giovanetti Canteri
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cecilia Irene Berveglieri
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia
Ambiental conforme IN 01/2011 PROGRAD/PROPPG”

FRANCISCO BELTRÃO

2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, avós, a minha noiva e a todos os Brasileiros que garra construíram este país e com patriotismo proporcionam as presentes e futuras gerações condições de conhecimento e desenvolvimento próspero, e em especial a todos os colaboradores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Alessandra e Marcelo Lacerda, e aos meus avós Martha Maria e Luiz Carlos Fröner por toda oportunidade de estudo e condições para a realização de meus sonhos.

A minha noiva Luana Rabello, pela sua dedicação, amizade, parceria e por todo incentivo de crescimento.

E a todos os profissionais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, por proporcionarem um ensino de qualidade e um ambiente de aprendizado inigualável.

EPÍGRAFE

“O animal é tão ou mais sábio do que o homem: conhece a medida da sua necessidade, enquanto o homem a ignora.”

Demócrito

RESUMO

LACERDA, Vinícius Fröner. **AVALIAÇÃO DO EXTRATO DE *Cereus jamacaru* COMO AGENTE COAGULANTE AUXILIAR AO SULFATO DE ALUMÍNIO.** 2021. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2021.

A grande necessidade de água de qualidade seja ela para dessedentação ou processos industriais é um evidente problema que aflige o cotidiano dos agentes públicos e das unidades de tratamento e fornecimento de água. A conservação da água é uma necessidade por toda humanidade, tendo em vista sua baixa disponibilidade seja ela geográfica e ou por qualidade. Devido ao aumento do consumo e da geração de efluentes (água com resíduos) é nítido a necessidade de métodos e tecnologias para limpeza e melhoria deste recurso. A qualidade da água é uma garantia legal baseada em estudos, normas e leis, sendo assim são estabelecidos rigorosos padrões de qualidade que devem ser atingidos pelas unidades de tratamento de água e efluentes. Os tratamentos mais simplificados são o pré-tratamento e o tratamento primário, no qual compreendem uma etapa de eliminação de sólidos grosseiros através de gradeamento e dos particulados e sólidos dissolvidos através da coagulação. De maneira geral o processo de coagulação elimina a turbidez e coloração da água, para que isso ocorra são utilizados agentes coagulantes. Comercialmente o sulfato de alumínio é o agente coagulante de maior uso, uma vez que este apresenta alta disponibilidade e valor mais acessível em relação a outros. Entretanto, o uso dos agentes coagulantes apesar de eliminarem um grande problema podem trazer problemas devido a liberação de íons que muitas vezes são cancerígenos. Este trabalho propôs a utilização de biocoagulante associado ao sulfato de alumínio como forma de tratamento. Muitos biocoagulante são extratos poliméricos de cactos, amplamente encontrados na natureza e de fácil cultivo nos diversos biomas brasileiros. Foi avaliado a formulação de biocoagulante por extrato ácido, básico e salino, do cacto popularmente conhecido como Mandacaru (*Cereus jamacaru*) e sua influência nas características físico-químicas no tratamento e eficiência do tratamento. Verificou-se que a utilização do polímero de Mandacaru apresentou melhoria no processo de coagulação, foi verificado um aumento da eficiência de redução de turbidez quando comparado ao uso sem o polímero orgânico, sendo que o polímero do extrato básico apresentou a melhor redução de turbidez.

Palavras-chave: *Cereus jamacaru*; coagulação; sulfato de alumínio; turbidez.

ABSTRACT

LACERDA, Vinícius Fröner. **EVALUATION OF *Cereus jamacaru* EXTRACT AS A COAGULANT AUXILIARY TO ALUMINUM SULFATE**. 2021. 33 f. Course Conclusion Paper (Graduation) – Degree in Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Francisco Beltrão, 2021.

The great need for quality water, whether for drinking water or industrial processes, is an obvious problem that afflicts the daily lives of public agents and water treatment and supply units. Water conservation is a necessity for all of humanity, considering its low availability, be it geographic or by quality. Due to the increase in consumption and the generation of effluents (water with waste), the need for methods and technologies to clean and improve this resource is clear. Water quality is a legal guarantee based on studies, norms and laws, and therefore strict quality standards that must be met by the water and effluent treatment units are established. The most simplified treatments are pre-treatment and primary treatment, which comprise a stage of elimination of coarse solids through grating and particulates and dissolved solids through coagulation. In general, the coagulation process eliminates the turbidity and color of the water, for this to occur, coagulating agents are used. Commercially, aluminum sulphate is the most widely used coagulating agent, since it has high availability and a more accessible value compared to others. However, the use of clotting agents despite eliminating a major problem can bring problems due to the release of ions that are often carcinogenic. This work proposed the use of a biocoagulant associated with aluminum sulfate as a form of treatment. Many biocoagulants are polymeric extracts from cacti, widely found in nature and easy to grow in different Brazilian biomes. The biocoagulant formulation by acid, basic and saline extract of the cactus popularly known as Mandacaru (*Cereus jamacaru*) and its influence on the physicochemical characteristics of the treatment and treatment efficiency was evaluated. It was found that the use of Mandacaru polymer showed an improvement in the coagulation process, an increase in the efficiency of turbidity reduction was verified when compared to the use without the organic polymer, and the basic extract polymer showed the best turbidity reduction.

Keywords: *Cereus jamacaru*; coagulation; aluminum sulfate; turbidity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas do processo de tratamento de água convencional	16
Figura 2 – Bacia da cachoeira do rio Eral	20
Figura 3 – Esquema de determinação da alcalinidade total.....	21
Figura 4 – Preparo das soluções para análise de turbidez	22
Figura 5 - Etapas do preparo do extrato de coagulação de <i>Cereus jamacaru</i>	24
Figura 6 - Cacto Mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i>) onde foi removido seu caule	24
Figura 7 - Caule do cacto Mandacaru (<i>Cereus jamacaru</i>) (a) após a coleta e (b) após a remoção de espinhos e limpeza do caule.....	25
Figura 8 - Fração de cacto Mandacaru sendo macerado	25
Figura 9 – Eficiência de remoção da turbidez por diferentes dosagens de sulfato de alumínio.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de análise da água bruta	27
Tabela 2 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio	28
Tabela 3 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio e com extrato salino	28
Tabela 4 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio e com extrato básico	29
Tabela 5 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio e com extrato ácido	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Panorama da água.....	15
2.2	Tratamento de água	16
2.2.1	Coagulação	17
2.3	Coagulantes	18
2.3.1	Sulfato de alumínio	18
2.3.2	Biocoagulantes	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Coleta de água	20
3.2	Análises de características físico-químicas	20
3.2.1	pH (potencial hidrogeniônico).....	21
3.2.2	Alcalinidade Total	21
3.2.3	Turbidez.....	22
3.3	Preparo dos agentes coagulantes	23
3.3.1	Sulfato de alumínio	23
3.3.2	Extrato de <i>Cereus jamacaru</i>	23
3.4	Ensaio de coagulação	26
3.5	Eficiência de remoção da turbidez	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1	Água de estudo	27
4.2	Ensaio de coagulação	27
4.2.1	Sulfato de alumínio	27
4.2.2	Extrato salino.....	28
4.2.3	Extrato básico	29
4.2.4	Extrato ácido.....	29
5	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

A necessidade do fornecimento de água de qualidade seja ela para dessedentação ou processos industriais é um evidente problema que aflige o cotidiano dos agentes públicos e das unidades de tratamento e fornecimento de água. A conservação e gestão dos recursos hídricos é uma tarefa obrigatória de toda humanidade, sendo seu foco o lançamento da água (efluente) no ambiente ou sua reciclagem e ou reutilização.

Devido à grande disponibilidade de recursos hídricos, a instalação de centros urbanos foi estabelecida no entorno de rios. Indústrias e agricultura são grandes consumidores de água, desde a irrigação de culturas a complexos processos produtivos, os quais geram efluentes com cargas de químicos que, quando não tratados e lançados em corpos hídricos, são capazes de alterar sua qualidade.

A demanda por água potável cresce paralelamente ao crescimento populacional e produtivo, sendo cada vez mais necessário o uso dos recursos hídricos disponíveis. O aumento do consumo e da geração de efluentes torna necessária a busca por tecnologias de remediação cada vez mais eficazes.

Segundo Liu et al. (2019), devido ao crescimento da indústria e agricultura, são estabelecidos padrões mais rigorosos de qualidade da água, fazendo com que métodos convencionais de tratamento como coagulação, floculação, filtração, tratamento físico-químico e biológico, não tenham capacidade de atender a demanda de água pela qualidade e quantidade.

As estações de tratamento de água (ETA) realizam operações de adequamento das características físico-químicas e biológicas do efluente ou da água bruta para que estas apresentem qualidade de uso e sigam os parâmetros da legislação vigente.

Popularmente entende-se como água de qualidade aquela que não apresenta cor, odor, sabor e turbidez, já a definição de Richter (1991) para a qualidade da água dá-se por sua composição química, física e biológica, sendo que suas características desejáveis dependem diretamente da finalidade de seu uso.

Os complexos contaminantes lançados em corpos hídricos, desde pesticidas, herbicidas, fármacos e outros agentes químicos, tornam fundamental o uso de processos avançados de tratamento de água para remoção de contaminantes que os processos de tratamento de água convencional não conseguem remover. Segundo Liu et al. (2019) há

uma necessidade de abordagens para retirada completa de um amplo espectro de contaminantes em uma única fase de tratamento.

O tratamento de água passa por diversos processos, sendo a coagulação um dos primeiros processos aplicáveis. A coagulação, segundo Vaz et al. (2010), tem como finalidade a remoção coloidal de sólidos suspensos (cor) ou dissolvidos (turbidez). Essa técnica é utilizada como pré-tratamento em unidades de mistura rápida (hidráulicas ou mecanizadas), desestabilizando e agregando os contaminantes e outros poluentes em flocos.

Os coagulantes comerciais utilizados pelas ETA (estação de tratamento de água) apesar de conseguirem remover facilmente coloides, particulados suspensos e material orgânico apresentam certa ineficácia na remoção de muitos contaminantes dissolvidos em água, sendo utilizados como etapa prévia a tratamentos avançados.

No Brasil, a baixa quantidade de investimentos para os sistemas de saneamento básico associada à grande demanda de água com boa qualidade fazem com que sejam estimuladas pesquisas para aperfeiçoar os processos de coagulação e floculação, assim como o emprego de polímeros no tratamento de água (RICHTER, 1991).

O mandacaru (*Cereus jamacaru*), um cactáceo nativo brasileiro, consegue se adaptar as condições climáticas do semiárido. A planta apresenta diversos espinhos, adaptações para menor taxa de transpiração e maior taxa de retenção de água. Diversos estudos utilizam o mandacaru como um agente de biorremediação de solos degradados e devido a sua capacidade de resiliência, pode ser utilizado em processos de agregação de partículas poluentes. Os polímeros extraídos do cacto podem ser uma alternativa como agente coagulador associado a coagulantes comerciais.

Os polímeros de cactos são amplamente encontrados na natureza e de fácil cultivo nos diversos biomas brasileiros. A extração e preparo de polímero proveniente dos cactos é relativamente mais barata que a aquisição de quantidade similar de coagulante químico, além de ser um composto natural e não sintético, diminuindo o risco a saúde.

A cadeia polimérica de cactos apresenta a capacidade da alteração do potencial zeta, efeito elétrico no plano hidrodinâmico de cisalhamento, responsável pela agregação ou separação dos compostos. Devido ao efeito de alteração do potencial zeta pelos polímeros, é possível realizar a extração de íons metálicos presentes em água.

Este trabalho teve como objetivo sintetizar polímeros para coagulação através da biomassa de *Cereus jamacaru*, e avaliar os efeitos físico-químicos do uso destes

polímeros como agente de coagulação auxiliar ao coagulante comercial sulfato de alumínio e sua possibilidade de aplicação no tratamento primário de água de abastecimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Panorama da água

A água doce é um recurso natural bastante escasso e com distribuição desigual, sendo que sua disponibilidade para o consumo humano provém da possibilidade de captação em lagos, rios e aquíferos (GIATTI; CUTOLO, 2012).

A demanda de água tem crescido nas áreas urbanas, sendo cada vez mais escassas as fontes adequadas de água de alta qualidade localmente disponíveis. Simultaneamente a capacidade de detecção de contaminantes tornou-se mais sofisticada e os efeitos negativos para a saúde de alguns constituintes tornaram-se mais evidentes (HOWE et al., 2016). A qualidade, disponibilidade e acessibilidade da população à água tratada são essenciais para o desenvolvimento humano, e sua garantia deve ser uma das preocupações das políticas de combate à pobreza e a melhoria da qualidade de vida da população (REYMÃO; SABER, 2009).

A água é um bem público indispensável para a vida, sua importância com a saúde pública de outros é amplamente conhecida, entretanto, mais de 1 bilhão de pessoas não tem acesso a água tratada, sendo que no Brasil, são cerca de 19 milhões de pessoas sem acesso a este bem (FRAZÃO; PERES; CURY, 2011; RHEINGANS; DREIBELBIS; FREEMAN, 2006). A falta de acesso a água tratada leva em conta os padrões do quadro de desigualdade socioeconômica e de localização geográfica. Os países em desenvolvimento apresentam uma maior probabilidade de acesso a água tratada em seus centros urbanos do que em suas áreas rurais (RHEINGANS; DREIBELBIS; FREEMAN, 2006).

Essencial para a existência e bem-estar do ser humano a água, deve estar disponível em quantidade suficiente e boa qualidade como garantia da manutenção da vida. Além de ser ingerida pelo ser humano em quantidade superior a todos os outros alimentos, ela é imprescindível para a higiene. Para tanto, é necessário que atenda ao padrão de potabilidade, que são as quantidades limites que, com relação aos diversos elementos, podem ser toleradas nas águas de abastecimento, quantidades definidas geralmente por decretos, regulamentos ou especificações (FREITAS et al., 2002).

A portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, traz as normativas padrões de potabilidade de água para consumo humano, definindo as diretrizes básicas, o controle, vigilância da qualidade de água de abastecimento público,

bem como os sistemas, serviços e padrões de potabilidade da água de abastecimento (BRASIL, 2011).

O lançamento em corpos d'água dos resíduos gerados em estações de tratamento de água (ETAs), quando não aprovado por órgãos ambientais, pode ser considerado crime ambiental devido aos efeitos diretos causados ao ambiente aquático do corpo receptor, provocando danos à fauna aquática. Constitui-se crime ambiental, de acordo com o artigo 54 da Lei 9.605/98 (ACHON; BARROSO; CORDEIRO, 2013).

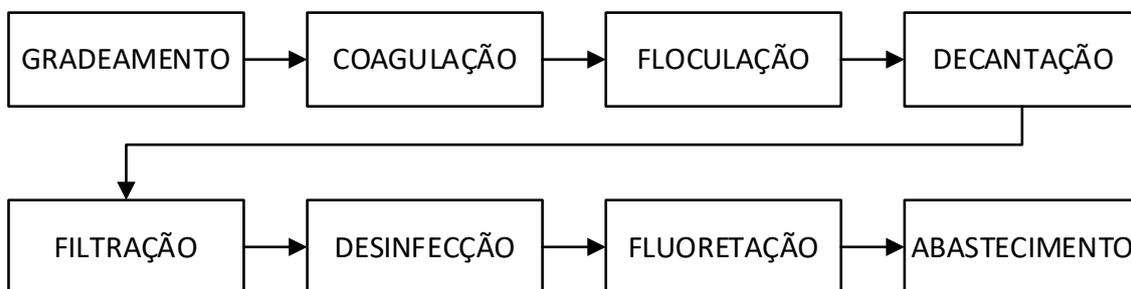
2.2 Tratamento de água

De acordo com informações da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) de 2017, dentre os 5517 municípios brasileiros investigados 4873 (88,3%) possuíam o serviço de tratamento de água para e ou unidades de tratamento simplificada em operação (IBGE, 2017).

No Brasil dos 5517 municípios com unidades de abastecimento de água em funcionamento, 4873 (88,3%) apresentavam estações de tratamento de água ou unidade de tratamento simplificado em operação. De maneira geral no Brasil 50,5% dos municípios apresentavam tratamento convencional, 13,7% tratamento não convencional e 62,4% simples desinfecção (IBGE, 2017).

O tratamento de água é um processo dividido em fases, sendo que em cada fase há um controle rígido da dosagem de produtos químicos e acompanhamento dos padrões de qualidade (SABESP, 2021). A figura 1 demonstra as etapas convencionais do tratamento de água.

Figura 1 - Etapas do processo de tratamento de água convencional



Fonte: Autoria própria (2021)

2.2.1 Coagulação

O objetivo da coagulação é a transformação de pequenas partículas em partículas maiores chamadas de coágulos, para que posteriormente possam ser removidos com facilidade por sedimentação e ou filtração. A coagulação nada mais é do que a adição de um produto químico que irá condicionar as partículas pequenas a se desestabilizarem e se agregarem como partículas maiores (DAVIS, 2016).

A coagulação é uma das técnicas amplamente utilizadas para tratamento de água potável, efluente doméstico e industrial devido ao seu baixo custo e fácil operação. Os rígidos requisitos existentes de qualidade da água facilitaram o desenvolvimento de técnicas e pesquisas de coagulação. Além de que, o projeto e a preparação de novos coagulantes eficientes têm emergido como um tópico de pesquisa significativo nas últimas décadas (FANG et al., 2019).

Coagulação é um processo unitário que consiste na formação de coágulos através da reação do agente coagulante de modo que ocorra um estado geral de equilíbrio eletrostaticamente instável de partículas dentro da massa líquida. A coagulação é definida pelas mudanças físico-químicas produzidas pela dispersão, na água, de um coagulante solúvel que se hidrolisa em partículas carregadas positivamente, anulando as cargas negativas dos coloides, formando com eles os coágulos (SOUZA, 2007). Basicamente a coagulação é o processo pelo qual o agente coagulante é adicionado à água, reduzindo as forças que tendem a manter separadas as partículas em suspensão (CARDOSO et al., 2008).

A coagulação depende fundamentalmente das características da água e das impurezas presentes conhecidas através de parâmetros como pH, alcalinidade, cor verdadeira, turbidez, temperatura, mobilidade eletroforética, força iônica, sólidos totais dissolvidos, tamanho e distribuição de tamanho das partículas em estado coloidal e em suspensão, além de outras características (KOWATA; RIBEIRO; TELLES, 2000).

A sedimentação de materiais orgânicos e argilas suspensas podem ser aceleradas utilizando produtos químicos como sulfato de alumínio e polímeros, substâncias amplamente utilizadas nos sistemas de tratamento de águas de diversos municípios. Tais produtos além de terem um custo elevado geram resíduos na água os quais podem causar problemas de saúde como Mal de Alzheimer (BERTONCINI, 2008; SCHINTU; MELONI; CONTU, 2000).

O processo de coagulação consiste na adição do agente coagulante em dose adequada seguido de uma intensa mistura para homogeneização do coagulante no meio. Nesta etapa ocorre então a desestabilização dos colóides que apresentam carga negativa na superfície, neutralizando as forças elétricas superficiais, anulando as forças repulsivas, permitindo a junção das partículas e formação de agregados maiores (colóides) (ZALESCHI et al., 2012).

2.3 Coagulantes

2.3.1 Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio e hidróxido de alumínio, segundo (MONACO et al., 2010), são os coagulantes químicos mais utilizados no tratamento de água de abastecimento público no Brasil. Isso é devido a sua alta eficiência de sólidos em suspensão, entretanto o uso do sulfato de alumínio gera o problema da produção de iodo. Por esse coagulante não ser biodegradável, em elevadas concentrações pode ocasionar problemas a saúde humana, como descrito por (CARDOSO et al., 2008).

2.3.2 Biocoagulantes

Os coagulantes mais empregados nas estações de tratamento de água (ETAs) são os inorgânicos, sais trivalentes de ferro e alumínio e ou polímeros sintéticos. Apesar do desempenho e custo-eficácia comprovados dos coagulantes químicos, são estudados coagulantes naturais, nos quais alguns biopolímeros vêm sendo investigados mais intensamente (FRANCO et al., 2017). Os coagulantes naturais são predominantemente à base de plantas, sendo ampla faixa de distribuição ecológica que foram descritas como bem-sucedidas no tratamento de água, o que as torna uma alternativa viável, de baixo custo, multifuncional e biodegradável (MICHELON et al., 2020).

2.3.2.1 *Cereus jamacaru*

O *Cereus jamacaru* popularmente conhecido como mandacaru é um cactáceo que cresce em solos pedregosos com ocorrência típica na flora da região semiárida do

nordeste brasileiro, junto a outras espécies de cactáceas, formam a típica paisagem desta região (SILVA; ALVES, 2017).

É um cactáceo de grande importância para a sustentabilidade e conservação da biodiversidade do bioma da caatinga. Seus frutos servem de alimento para aves e fauna silvestre, e em períodos de seca o mandacaru é amplamente utilizado como alimentação animal pelos agricultores (CAVALCANTI; RESENDE, 2007).

O mandacaru é um cacto colunar abundantemente ramificado, possui flores brancas, seus frutos são grandes, avermelhados e com poupa branca provida de muitas sementes, é um fruto insípido (desprovido de sabor) entretanto comestível (GOMES, 1977). O mandacaru pode atingir de 3 a 7 metros de altura, possui caule com espinhos rígidos e grande quantidade de água em seu interior (ROCHA; AGRA, 2002).

Por apresentar um caule colunar, com tonalidade que varia de tons verde a tons azulados esse espécime é muito atrativo para o mercado de plantas ornamentais. Sua exploração comercial de forma sustentável, assim como de outras cactáceas, depende em grande parte do conhecimento biológico da cactácea e do uso de técnicas adequadas de propagação (CORREIA et al., 2007).

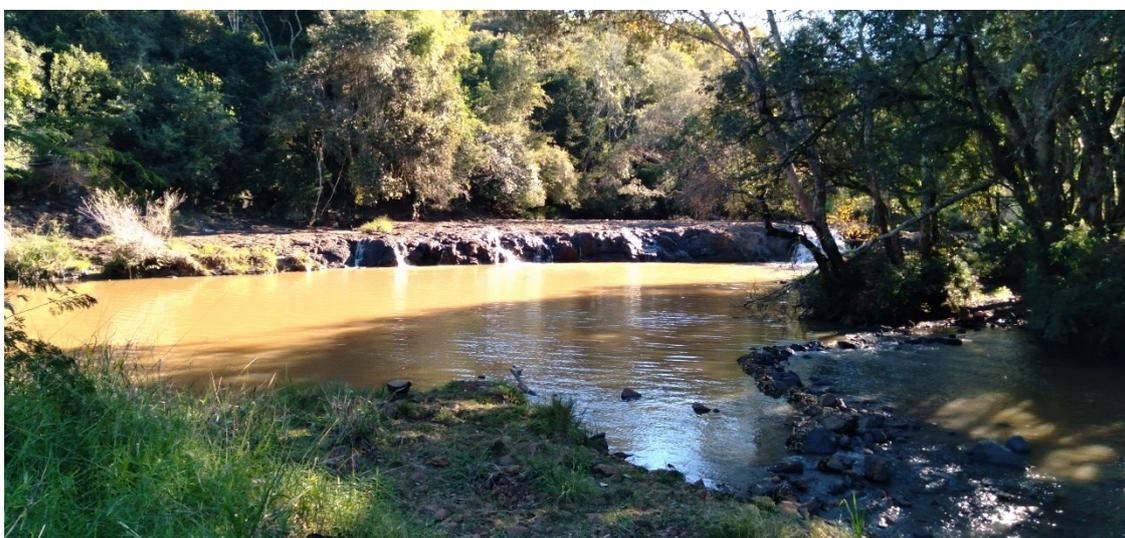
O Mandacaru apresenta potencial antibacteriano de diversos microrganismos como *Streptococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli* (DAVET et al., 2009). Além disso este é uma grande fonte de proteína (mais de 10%), resíduos minerais, vitamina e celulose. O Mandacaru ainda tem propriedades medicinais como ação diurética, melhoria dos males do coração (doenças cardíacas) e no combate ao escorbuto e doenças respiratórias (DAVET et al., 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta de água

Foram coletadas amostra de água em um Tambor de 50 L na bacia da cachoeira do rio Erval, localizada na linha Hobold, zona rural do município de Francisco Beltrão, Paraná. Após a coleta e enchimento do tambor este foi transportado imediatamente até o laboratório de águas e efluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão, onde foi fracionada em galões menores e levadas para refrigeração, foi separado ainda uma alíquota para análise físico-química realizada na data da coleta.

Figura 2 – Bacia da cachoeira do rio Erval



Fonte: Autoria própria (2021)

3.2 Análises de características físico-químicas

As análises físico-químicas da água coletada seguiu os padrões estabelecidos pelo “Manual prático de análise de água” desenvolvido pela Fundação Nacional da Saúde (BRASIL, 2013), as análises foram realizadas para a água de estudo pré e pós tratamento.

3.2.1 pH (potencial hidrogeniônico)

As análises de pH foram realizadas através de um potenciômetro de pH. Para início do procedimento de calibragem a haste do eletrodo foi lavada com água destilada e calibrado com as soluções de padrão analítico com faixa de pH 4 e pH 7.

O galão contendo a amostra de água foi agitado e em seguida foram coletadas 3 amostras (30 mL) de água em béqueres de 50 mL. O eletrodo do pHmetro foi imerso em cada um dos béqueres contendo as amostras de água coletada para registro dos seus respectivos valores de pH.

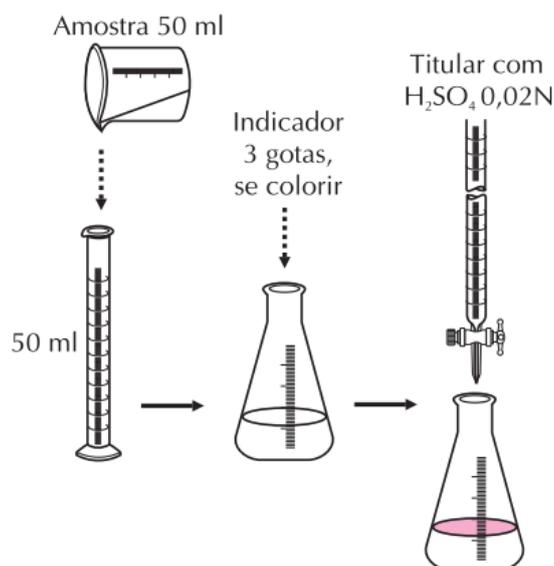
A análise de pH para a água após tratamento foi realizada coletando 3 alíquotas em cada cuba do Jar-Test no instante de finalização do ensaio de coagulação.

3.2.2 Alcalinidade Total

A análise de alcalinidade foi realizada adicionando 50 mL da amostra em um *Erlenmeyer*, em seguida foi adicionado 3 gotas da solução indicadora verde de bromocresol e vermelho de metila. Foi titulado com solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4) até que ocorresse o tombo (mudança de coloração) no *Erlenmeyer*, (Figura 3). A alcalinidade foi calculada através do volume gasto de ácido sulfúrico, pela Equação 1.

$$A_{T(CaCO_3)} \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = V_{H_2SO_4} \cdot 20 \quad (1)$$

Figura 3 – Esquema de determinação da alcalinidade total.

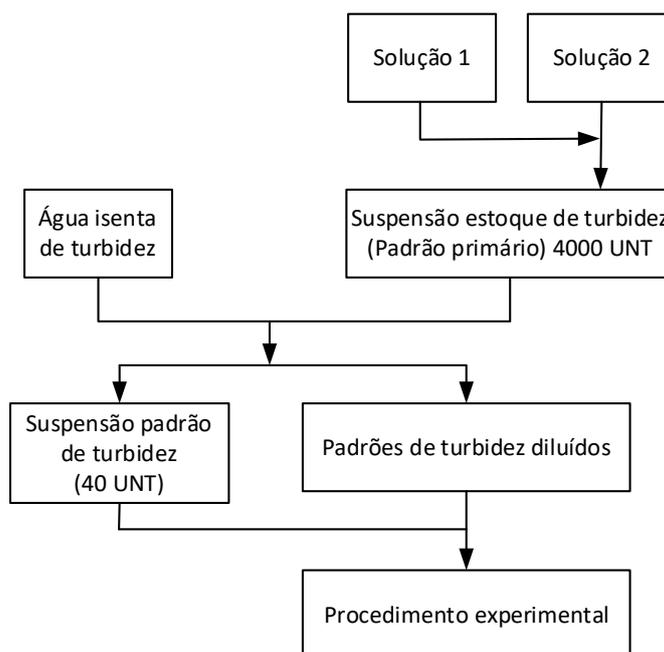


Fonte: Brasil (2013)

3.2.3 Turbidez

A análise de turbidez foi realizada através do método de análise nefelométrico, para este foi preparado uma solução padrão para a análise (Figura 4), foi preparado uma suspensão estoque de turbidez (4000 UNT) e água isenta de turbidez, em seguida foram realizadas as diluições necessárias para a faixa de turbidez em estudo, na solução padrão (40 UNT) e os padrões diluídos.

Figura 4 – Preparo das soluções para análise de turbidez



Fonte: Autoria própria (2021)

Foi preparado uma amostra de água isenta de turbidez, para isso foi filtrada água destilada em uma folha de filtro de membrana de 0,02 μm de porosidade. Os primeiros 200 mL filtrado foi descartado e em seguida o béquer de coleta foi enxaguado 3 (três) vezes com a água filtrada.

O padrão primário da suspensão estoque de turbidez (4000 UNT) foi preparada dissolvendo 1,0 g de sulfato de hidrazina $\text{N}_2\text{H}_6\text{SO}_4$ e 100 mL de água destilada em um balão volumétrico, foi realizada a dissolução de 10,0 g de hexametenotetramina $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ e 100 mL de água destilada em balão volumétrico. Foi realizado a mistura com cada uma das soluções preparadas na proporção 1:1 e deixada em repouso por durante 24 horas a temperatura controlada de 25°C, a mistura (padrão primário) foi transferida para um frasco âmbar.

A suspensão padrão de turbidez (40 UNT) foi preparada com a diluição de 1 mL da solução do padrão primário em 100 mL de água isenta de turbidez. As demais suspensões para o estudo foram preparadas através da diluição da solução do padrão primário com água isenta de turbidez.

O turbidímetro foi calibrado através da suspensão padrão de turbidez (40 UNT) e das soluções diluídas. A análise foi realizada através da leitura da amostra, sendo que para as medidas de turbidez menores que 40 UNT a amostra foi suavemente agitada, esperando o desaparecimento das bolhas de ar, e em seguida feita a leitura no turbidímetro calibrado. As amostras com turbidez acima de 40 UNT, a amostra foi diluída com água isenta de turbidez até que a amostra apresentasse turbidez inferior a 40 UNT, após isso é feito a leitura da turbidez da amostra e seu resultado é corrigido pelo fator de diluição (equação (2)).

$$\text{UNT} = \frac{A \cdot (B+C)}{C} \quad (2)$$

Onde:

A: Turbidez da amostra diluída

B: Volume da diluição (mL)

C: Volume da amostra tomado para diluição

3.3 Preparo dos agentes coagulantes

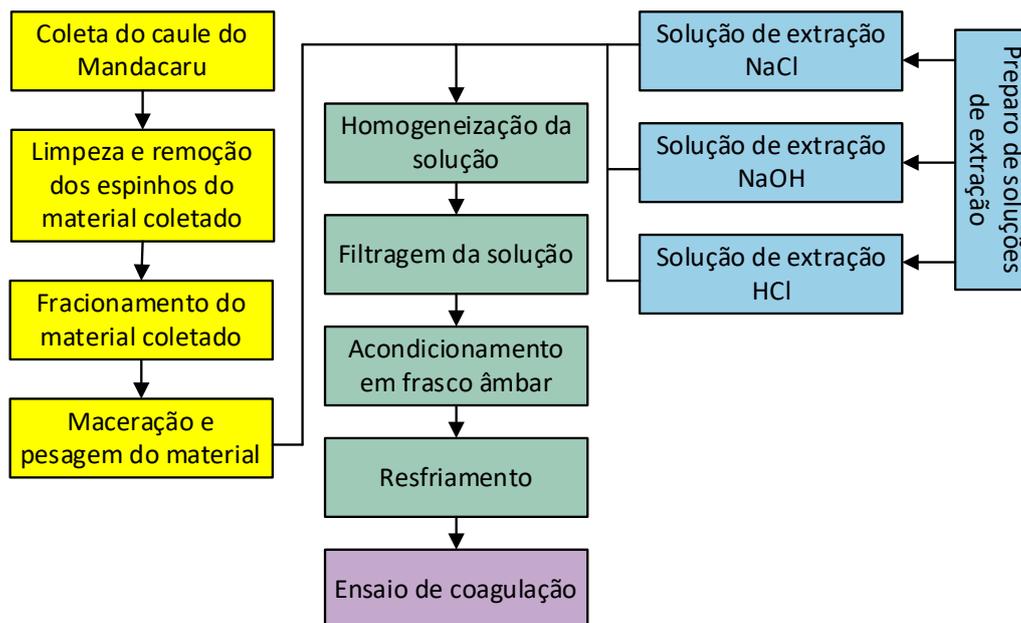
3.3.1 Sulfato de alumínio

Foi preparado soluções de sulfato de alumínio padrão analítico (alta pureza) e água destilada nas concentrações de 0.5 mg L⁻¹ a 3 mg L⁻¹ a cada 0.5 mg L⁻¹.

3.3.2 Extrato de *Cereus jamacaru*

O preparo do agente coagulante do extrato de *Cereus jamacaru* ocorreu seguindo etapas do estudo de Zara, Helena e Felipe (2012), conforme demonstra o fluxograma (Figura 5).

Figura 5 - Etapas do preparo do extrato de coagulação de *Cereus jamacaru*



Fonte: Autoria própria (2021)

As amostras das partes aéreas do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) (Figura 6) foram obtidas na linha Hobold zona rural do município de Francisco Beltrão – PR, através da coleta pela remoção de alguns caules do cacto com a utilização de luva de couro para proteção contra os espinhos do cacto.

Figura 6 - Cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) onde foi removido seu caule



Fonte: Autoria própria (2020)

Os caules removidos foram armazenados para transporte em recipiente vedado e levado imediatamente para o laboratório. Os espinhos do caule foram removidos com uma faca e posteriormente foi realizada a limpeza do caule (Figura 7).

Figura 7 - Caule do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) (a) após a coleta e (b) após a remoção de espinhos e limpeza do caule



Fonte: Autoria própria (2020)

O caule limpo foi cortado em fatias, sua casca foi removida e posteriormente estas frações foram maceradas em graal cerâmico com auxílio de pistilo (Figura 8) para o aumento da superfície de contato.

Figura 8 - Fração de cacto Mandacaru sendo macerado



Fonte: Autoria própria (2021)

O material macerado de Mandacaru foi pesado e em seguida depositado em béqueres limpos um béquer limpo.

Foram preparadas 3 (três) diferentes soluções para extração, uma solução de cloreto de sódio 1%, uma solução hidróxido de sódio $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e solução de ácido clorídrico $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ em béqueres de 500 mL. Em cada um dos béqueres com solução extratora foram adicionadas parcelas dos materiais processado do mandacaru, a massa adicionada foi na proporção de 1 g do material processado para 2,5 mL da solução extratora. A solução foi posta sob agitação magnética por durante 40 minutos, em seguida

cada uma das soluções foi filtrada e seu material viscoso foi armazenado em frasco âmbar previamente identificados e refrigerado em temperatura próxima aos 3°C.

3.4 Ensaio de coagulação

Precedente ao ensaio de coagulação foram ajustadas as parcelas de água para o ensaio de coagulação através da correção do pH da água com ácido sulfúrico 0,1 mol L⁻¹ para diminuição do valor do pH e hidróxido de sódio 0,1 mol L⁻¹ para elevação do ajuste do pH. As parcelas para os ensaios de coagulação tiveram seu pH corrigidos para 4, 6, 7, 8, 9, em triplicata para a realização do ensaio com o sulfato de alumínio e com o extrato de *Cereus jamacaru* combinado ao sulfato de alumínio.

O ensaio de coagulação foi realizado com a adição de 1 L do efluente estudado com auxílio de uma proveta em cada uma das cubas graduadas do Jar-Test Microcontrolado modelo JT-203 (Milan). Foram inoculadas as doses dos coagulantes da menor concentração para a maior concentração em cada uma das cubas, imediatamente após a adição da dose do agente coagulante iniciou-se o processo de agitação (mistura rápida) em 100 rpm por 3 minutos, após isso foi realizada uma redução para a agitação lenta (tempo de detenção) em 50 rpm por 30 minutos. Após o processo de agitação ser concluído o módulo ficou em equilíbrio estático durante 30 minutos para a decantação. Coletou-se o sobrenadante cuidadosamente para evitar agitação, enviando este para as análises físico-químicas, o corpo de fundo nas cubas graduadas do Jar-Test foi adequadamente descartado.

3.5 Eficiência de remoção da turbidez

A eficiência da remoção da turbidez após o tratamento foi calculada pela relação da diferença da turbidez inicial pela final (pós tratamento) e sua razão em relação a turbidez inicial, conforme equação (3).

$$E = \frac{(T_i - T_t)}{T_i} 100 \quad (3)$$

Onde:

E: Eficiência do tratamento (remoção da turbidez) (%).

T_i: Valor da turbidez (UNT) da água bruta.

T_t: Valor da turbidez (UNT) da água bruta após o tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Água de estudo

A água bruta utilizada no estudo apresentou um pH inicial de 6,47 com coloração límpida e turbidez de 26 UNT, além de alcalinidade total de 13,6 mg L⁻¹ de CaCO₃, conforme representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de análise da água bruta

Analito	pH	Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Turbidez (UNT)
Água bruta	6,47	13,6	26

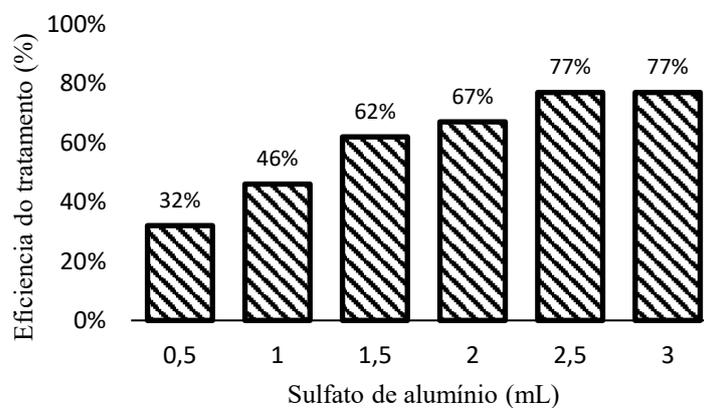
Fonte: Autoria própria (2021)

4.2 Ensaio de coagulação

4.2.1 Sulfato de alumínio

A Figura 9 apresenta a eficiência da remoção da turbidez através do ensaio de coagulação utilizando o sulfato de alumínio como agente coagulante. Nota-se que a dosagem de 2,5 e 3 mL de sulfato de alumínio apresentaram uma remoção de 77% da turbidez, entretanto seguindo o preceito de custo benefício adotou-se a dosagem de 2,5 mL como dosagem ideal.

Figura 9 – Eficiência de remoção da turbidez por diferentes dosagens de sulfato de alumínio



Fonte: Autoria própria (2021)

Observou-se também após o tratamento com sulfato de alumínio alteração do pH e alcalinidade da água, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio

Ensaio	pH	Alcalinidade (mg L⁻¹ CaCO₃)	Turbidez (UNT)
Água bruta	6,47	27,6	26
Sulfato de alumínio	5,2	18,7	5,98

Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.2 Extrato salino

O extrato de *Cereus jamacaru* preparado com meio de extração salina (NaCl) como auxiliar de coagulação com sulfato de alumínio demonstrou uma insignificante redução do pH para 6,44, além de um menor consumo de alcalinidade total. A turbidez testada pós tratamento foi de 4,2 UNT o qual representa uma eficiência de 83,8% na redução da turbidez.

A Tabela 3 demonstra o comparativo dos valores experimentais do tratamento com o extrato salino e a comparação com a água bruta e o tratamento sem auxílio do biocoagulante.

Tabela 3 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio e com extrato salino

Ensaio	pH	Alcalinidade (mg L⁻¹ CaCO₃)	Turbidez (UNT)
Água bruta	6,47	27,6	26
Sulfato de alumínio	5,2	18,7	5,98
Extrato salino	6,44	23,4	4,2

Fonte: Autoria própria (2021)

A pequena alteração do pH deve-se a presença do cloreto de sódio, uma vez que este tem caráter neutro o meio não sofreria alteração do pH, entretanto a breve diminuição da-se pela presença do sal ácido de sulfato de alumínio.

4.2.3 Extrato básico

A utilização do biocoagulante preparado através do extrato básico (NaOH) apresentou uma remoção de turbidez de 91,1%, além disso foi observado um baixo consumo da alcalinidade total (24,6 mg L⁻¹ CaCO₃). O pH sofreu uma pequena redução para 6,12 após o tratamento, conforme observa-se a Tabela 4.

Tabela 4 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio e com extrato básico

Ensaio	pH	Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Turbidez (UNT)
Água bruta	6,47	27,6	26
Sulfato de alumínio	5,2	18,7	5,98
Extrato básico	6,12	24,6	2,3

Fonte: Autoria própria (2021)

4.2.4 Extrato ácido

A utilização do biocoagulante de Mandacaru pelo extrato ácido (HCl) juntamente com o sulfato de alumínio apresentou uma eficiência de remoção da turbidez da água bruta de 79,8%. O pH da alíquota testada após o tratamento apresentou drástica redução para 5,8, ocorrendo ainda um alto consumo da alcalinidade total (12 mg L⁻¹ CaCO₃), conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Comparação físico-química da água bruta com a água pós tratamento por sulfato de alumínio e com extrato ácido

Ensaio	pH	Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Turbidez (UNT)
Água bruta	6,47	27,6	26
Sulfato de alumínio	5,2	18,7	5,98
Extrato ácido	5,8	12,0	5,25

Fonte: Autoria própria (2021)

5 CONCLUSÃO

Os extratos do cacto Mandacau (*Cereus jamacaru*) apresentaram uma solução viável como agente coagulante auxiliar ao sulfato de alumínio. Sua utilização independentemente do método de extração apresentou melhoria na remoção da turbidez da água bruta analisada, quando comparado ao ensaio sem auxílio dos extratos de Mandacaru. O extrato básico apresentou a melhor eficiência de tratamento ao comparado aos outros extratos.

O uso dos extratos apresentou melhoria nas características físico-químicas quando comparado ao uso apenas do sulfato de alumínio, entretanto o extrato ácido do Mandacaru apresentou uma significativa diminuição do pH, além de um maior consumo de alcalinidade, sendo que sua remoção de turbidez foi muito menor comparada aos outros extratos.

Este estudo demonstrou que o extrato de Mandacaru como agente coagulante auxiliar apresenta uma melhoria nas características físico-químicas. Este cacto é encontrado em diversas regiões devido a sua resistência e seu uso como decoração. Devido a estas afirmativas podemos considerar um futuro estudo de viabilidade econômica no uso do extrato deste cacto em pequenas unidades de tratamento de água.

Devido a ocorrência da pandemia este trabalho apresentou dificuldades em sua execução, uma vez que os laboratórios foram fechados impossibilitando a análise de outros parâmetros, assim como os parâmetros biológicos. Além disso este trabalho não demonstra dados estatísticos pois apesar das análises serem feitas a todo rigor estas foram feitas em temporalidades diferentes, devido a isso este trabalho apresenta apenas os efeitos do tratamento.

REFERÊNCIAS

- ACHON, C. L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISO 24512: Desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 115–122, 2013.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento De Efluentes E Reúso Da Água No Meio Agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, v. 1, p. 152–169, 2008.
- BRASIL. Portaria nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. **Ministério da Saúde**, p. 1–10, 2011.
- BRASIL, F. N. DE S. **MANUAL PRÁTICO DE ANÁLISE DE ÁGUA**. 4. ed. Brasília: FUNASA, 2013.
- CARDOSO, K. C. et al. Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da moringa oleifera lam. **Acta Scientiarum - Technology**, v. 30, n. 2, p. 193–198, 2008.
- CAVALCANTI, N. DE B.; RESENDE, G. M. EFEITO DE DIFERENTES SUBSTRATOS NO DESENVOLVIMENTO DE MANDACARU (*Cereus jamacaru* P. DC.), FACHEIRO (*Pilosocereus pachycladus* RITTER), XIQUEXIQUE (*Pilosocereus gounellei* (A. WEBWR EX K. SCHUM.) BLY. EX ROWL.) E COROA-DE-FRADE (*Melocactus bahiensis* BRITTON. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 1, p. 28–35, 2007.
- CORREIA, D. et al. Crescimento de mandacaru em diferentes substratos em tubetes. **Ornamental Horticulture**, v. 13, p. 151, 2007.
- DAVET, A. et al. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 19, n. 2b, p. 561–564, 2009.
- DAVIS, M. **Tratamento de águas para abastecimento e residuárias : princípios e práticas**. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2016.
- FANG, Y. et al. Global trends of coagulation for water and wastewater treatment by utilizing bibliometrics analysis. **Desalination and Water Treatment**, v. 151, p. 93–105, 2019.
- FRANCO, C. S. et al. Coagulação com semente de moringa oleifera preparada por diferentes métodos em águas com turbidez de 20 a 100 UNT. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 781–788, 2017.

FRAZÃO, P.; PERES, M. A.; CURY, J. A. Qualidade da água para consumo humano e concentração de fluoreto. **Rev Saúde Pública**, v. 45, n. 5, p. 964–973, 2011.

FREITAS, V. P. et al. Padrão físico-químico da água de abastecimento público da região de Campinas. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, p. 51–58, 2002.

GIATTI, L. L.; CUTOLO, S. A. Acesso à água para consumo humano e aspectos de saúde pública na amazônia legal. **Ambiente e Sociedade**, v. 15, n. 1, p. 93–109, 2012.

GOMES, R. P. **Forragens fartas na seca**. 4. ed. São Paulo: [s.n.].

HOWE, K. J. et al. **Princípios de tratamento de água**. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

IBGE, E. **Pesquisa Nacional De Saneamento Básico 2017**. [s.l: s.n.].

KOWATA, E. A.; RIBEIRO, J. T.; TELLES, D. D. A. **Coagulação de água de abastecimento no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas**. 2º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnologia e IX Expo-Edif. **Anais...**São Paulo: 2000

LIU, J. et al. Actinia-like multifunctional nanocoagulant for single-step removal of water contaminants. **Nature Nanotechnology**, v. 14, n. 1, p. 64–71, 2019.

MICHELON, W. et al. Cladodes applied as decentralized ecotechnology to improve water quality and health in remote communities that lack sanitation. **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 2, p. 1–8, 2020.

MONACO, P. A. V. LO et al. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Revista Ambiente e Agua**, v. 5, n. 3, p. 222–231, 2010.

REYMÃO, A.; SABER, B. A. Acesso à água tratada e insuficiência de renda Duas dimensões do problema da pobreza no Nordeste brasileiro sob a óptica dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC)**, v. 12, n. 12, p. 1–15, 2009.

RHEINGANS, R.; DREIBELBIS, R.; FREEMAN, M. C. Beyond the Millennium Development Goals: public health challenges in water and sanitation. **Global public health**, v. 1, n. 1, p. 31–48, 2006.

RICHTER, C. A. **Tratamento de água : tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher,

1991.

ROCHA, E. A.; AGRA, M. DE F. FLORA DO PICO DO JABRE, PARAÏBA, BRASIL: CACTACEAE JUSS. **Acta bot. bras.**, v. 16, n. 1, p. 15–21, 2002.

SABESP. **Tratamento de água**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=47>>. Acesso em: 14 ago. 2021.

SCHINTU, M.; MELONI, P.; CONTU, A. Aluminum fractions in drinking water from reservoirs. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 46, n. 1, p. 29–33, 2000.

SILVA, L. R. DA; ALVES, R. E. Caracterização Físico-Química De Frutos De “Mandacaru”. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 7, n. 2, p. 199, 2017.

SOUZA, W. A. DE. **Tratamento de Água - Ebook.pdf**. [s.l.] CEFET-RN, 2007.

VAZ, L. G. D. L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Ecletica Química**, v. 35, n. 4, p. 45–54, 2010.

ZALESCHI, L. et al. A comparative study of electrocoagulation and chemical coagulation processes applied for wastewater treatment. **Environmental Engineering and Management Journal**, v. 11, n. 8, p. 1517–1525, 2012.

ZARA, R. F.; HELENA, M.; FELIPE, G. Estudo da Eficiência de Polímero Natural Extraído do Cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*) como auxiliar nos processos de coagulação e Floculação no tratamento de água. **REA - Revista de estudos ambientais**, v. 14, n. 2, p. 75–83, 2012.