

Artigos de Revisão em Ciência, Engenharia e Educação

Aplicação do fruto *Abelmoschus esculentus* no tratamento de água: uma revisão sistemática

Larissa Coêlho de Azevêdo 

Anderson de Jesus Lima 

Débora de Gois Santos 

Denise Conceição de Gois Santos Michelan* 

Universidade Federal de Sergipe, Brazil

*Autor correspondente: denise_gois@yahoo.com.br

Recebido: 16 de junho de 2023

Revisado: 31 de agosto de 2023

Aceito: 4 de outubro de 2023

Publicado: 15 de novembro de 2023



Resumo: A água consumida pelo ser humano necessita passar por tratamento, para apresentar qualidade. A fim de identificar possibilidades de tratamento simplificado, o estudo verificou o uso do quiabo como coagulante/floculante no tratamento de água para consumo humano, por meio de revisão sistemática, pautada na varredura de artigos científicos disponíveis em bases internacionais: Scopus, Web of Science e ScienceDirect. Fundamentou-se na criação de protocolo de pesquisa, levantamento e identificação dos artigos, seleção destes a partir dos critérios de inclusão e exclusão e, por fim, extração dos dados, para assim analisar integralmente artigos para compor o portfólio bibliográfico. Das 1532 publicações regatadas, 13 artigos foram lidos. Houve registro de estudos a partir de 1996, com destaque para 2015 e 2016. Ressalva-se que alguns trabalhos utilizam o quiabo apenas como coagulante, outros como floculante ou mesmo nessa dupla função. Além disso, o quiabo foi estudado tanto individualmente como associado a coagulantes químicos ou orgânicos, nas mais diversificadas dosagens. No tocante à eficiência, observou-se melhorias dos parâmetros estudados (58 a 98 %), o que retrata resultados promissores. Com isso, percebe-se que o uso do quiabo no tratamento de água, além de acessível utilização, por apresentar facilidade na aquisição, é também sustentável por ser um coagulante/floculante natural.

Palavras-chave: coagulante, floculante, dosagem, eficiência.

Review Articles in Science, Engineering and Education

Application of *Abelmoschus esculentus* fruit in water treatment: a systematic review

Abstract: The water consumed by human needs to undergo treatment to present quality. To identify possibilities of simplified treatment, the study verified the use of okra as a coagulant/flocculant in the treatment of water for human consumption, through a systematic review, based on the scanning of scientific articles available in international databases: Scopus, Web of Science, and ScienceDirect. It was based on the creation of a research protocol, survey and identification of papers, selection of these from the inclusion and exclusion criteria, and finally, data extraction, to thoroughly analyze articles to compose the bibliographic portfolio. Of the 1532 publications recognized, 13 papers were read. There was a record of studies from 1996, with emphasis on 2015 and 2016. It should be noted that some studies use okra only as a coagulant, others as a flocculant or even in this double function. In addition, okra has been studied both individually and associated with chemical or organic coagulants, in the most diverse dosages. Regarding efficiency, improvements were observed in the parameters studied (58 to 98%), which shows promising results. With this, it is perceived that the use of okra in water treatment, in addition to being accessible for presenting ease in acquisition, is also sustainable because it is a natural coagulant/flocculant.

Keywords: coagulant, flocculant, dosage, efficiency.

Introdução

A água é um recurso que chamou a atenção de pesquisadores devido ao decréscimo da sua disponibilidade, com qualidade, para ser consumida pelo ser humano. Por causa disso e para atender à dessedentação humana, é preciso tratá-la. Apesar de existirem tecnologias avançadas para o seu

tratamento, o aumento constante da poluição da água, ainda na natureza, torna o tratamento de água cada vez mais complexo e oneroso, sendo necessárias pesquisas para encontrar soluções mais sustentáveis [1].

Normalmente, o tratamento de água ocorre nas estações de tratamento de água (ETA) por meio das etapas: mistura rápida com coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH. A etapa de coagulação é uma das que recebe a adição de produtos, normalmente químicos. Durante anos, estes produtos foram testados e aplicados no tratamento de água para ajudar na remoção de contaminantes e substâncias nocivas. A adição do coagulante tem por finalidade desestabilizar os colóides dispersos presentes na água, sendo a neutralização de carga, adsorção e floculação por varredura os principais mecanismos de ação [2]. A coagulação e a floculação são etapas corriqueiras no processo de clarificação da água em fase de tratamento. Os coagulantes químicos mais comumente usados nas estações de tratamento são sulfato de alumínio, cloreto férrico, cloreto de polialumínio, sulfato ferroso clorado e sulfato férrico [3]. Além de ter na constituição metais como manganês, chumbo, zinco, cobre e mercúrio, considerados elementos contaminantes, esses coagulantes transformam-se em subproduto do tratamento de água denominado de lodo, o que representa problema de geração de resíduos (lodo), principalmente quando este é disposto irregularmente no meio ambiente [4].

No entanto, a presença de resíduos, a exemplo de alumínio residual na água tratada, tem causado preocupação aos pesquisadores, pois a ingestão prolongada de alumínio na água tem sido associada ao declínio cognato no cérebro humano e doença de Alzheimer [5, 6].

Como forma de mitigar consequências do tratamento de água na saúde humana, existem alternativas de baixo custo que vêm sendo estudadas. Como exemplo de mitigação, tem-se a substituição de coagulante/floculante por polímeros naturais. Com base na origem grega da palavra polímero (poly meros) significa “muitas partes”. Assim, autores [7] definem os polímeros como várias cadeias de moléculas menores formando a macromolécula, denominada de monômeros, interligadas por uma reação química chamada de polimerização. A função dos polímeros, no tratamento de água, é aglutinar ou agregar as impurezas (coágulos), formados na etapa de coagulação/floculação. Substituído o coagulante/floculante por polímero, este passa a apresentar a função destes. De acordo com [1, 8], o uso de polímeros minimiza a geração de lodo, facilita o tratamento e a disposição final do mesmo, por ser um material biodegradável ou atóxico ao meio ambiente. Recentemente, vários materiais naturais (ecomateriais) têm sido estudados para avaliar o potencial de coagulação no tratamento de água.

A exemplo desses materiais, têm-se extratos naturais de plantas, incluindo *Moringa oleifera*, *Cactus latifaria* e sementes de mostarda, com capacidade de coagulação e que podem ser usados no tratamento de água [9, 10]. Segundo [8] a *Moringa oleifera* Lam, também conhecida como *Moringa*

oleifera, moringa ou simplesmente MO, é uma espécie de *Moringa oleifera* nativa da Índia e adaptada a climas quentes. Entre os diversos usos, as sementes desta planta são usadas para tratar tanto água bruta, como água residual, purificando efetivamente águas turvas. Da mesma forma, outras plantas, como Hibiscus, são amplamente utilizadas em muitos países tropicais por causa de valores nutricionais [11].

Entre as muitas espécies de plantas de Hibiscus, apenas a vagem quiabo (*Abelmoschus esculentus*) foi investigada como floculante no tratamento de água e águas residuais [12]. Por se tratar de um polímero natural aniônico (íons carregados negativamente), a utilização após a aplicação de um coagulante metálico ou orgânico torna os flocos mais densos, maiores e mais resistentes às forças que levam à fratura [13].

Na busca por substâncias naturais alternativas, com intuito de redução do uso de coagulantes químicos no tratamento de água nos países em desenvolvimento, e que também melhorem a eficiência do tratamento de água, o presente trabalho teve como objetivo elaborar a revisão sistemática da literatura, de modo a identificar o panorama do uso do fruto quiabo sobre as diversas técnicas, que vem sendo aplicadas no tratamento de água, pautado na varredura de artigos em bases de artigos científicos internacionais.

Descrita a problemática, o estudo fundamenta-se na revisão sistemática da literatura, com o objetivo de identificar e analisar os projetos científicos, com relação às inúmeras aplicações que o quiabo tem no tratamento de água.

Materiais e Métodos

Como procedimento metodológico, o processo de busca por artigos baseou-se na procura por artigos nas bases de dados internacionais pré-definidas: Scopus, Web of Science e ScienceDirect, com acesso aberto ao texto completo, no momento da varredura.

Para realizar a revisão sistemática, foi elaborado primeiramente um planejamento fundamentado nas etapas: criação de um protocolo de pesquisa, levantamento e identificação dos artigos nas bases de dados de busca, seleção dos artigos a partir dos critérios de inclusão e exclusão, e, por fim, a extração dos dados dos artigos selecionados.

Primeiramente, o protocolo de pesquisa é um documento que contém todas as anotações das possíveis perguntas e das definições acerca do que se é necessário para a busca, seleção e extração dos artigos. No protocolo de pesquisa, foram definidas as questões de pesquisa:

- 1) Como o fruto quiabo é aplicado: coagulante ou floculante?
- 2) Técnica de aplicação, como é feito?
- 3) Tipo de água bruta (água superficial, água pluvial, água sintética etc.)?
- 4) Qual é a dosagem utilizada?
- 5) Qual foi a eficiência dos parâmetros estudados alcançada?
- 6) O fruto quiabo foi misturado com outro produto?

Posteriormente, fez-se a análise para elaborar as palavras chaves ou expressões de busca para cada base de dados, relacionando-as com as palavras principais da linha de pesquisa (Tabela 1).

As palavras ou expressões que fizeram parte da pesquisa para os bancos de dados Scopus e Web of Science são semelhantes, com a inclusão do asterisco (*) de modo a incluir termos distintos, no singular ou no plural. Quanto às sequências de pesquisas para o banco de dados ScienceDirect, estas incluem especificamente suas variantes (singular ou plural), porque não há recursos de asterisco nesse banco de dados.

Tabela 1. Palavras ou Expressões de busca .

Base	Palavras ou Expressões de busca
Scopus e Web of Science	("okra*" OR "abelmoschus esculentus*") AND (water)
Science Direct	("okra" OR "abelmoschus esculentus") AND (water)

Após a definição das Palavras ou Expressões de busca, a procura por artigos nas três bases de dados pré-definidas, retornou no total 1532 publicações. Ressalva-se que a varredura por artigos iniciou de forma atemporal e foi encerrada na data 27/09/2022. A Figura 1 mostra o número de trabalhos obtidos por cada base de pesquisa.

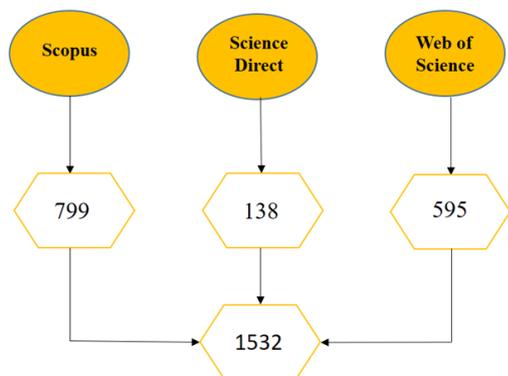


Figura 1. Números de publicações por base de dados.

Em seguida, foram eliminados os trabalhos duplicados, equivalente a 583 artigos, portanto, ao analisar, em seguida, o título e o resumo de cada artigo, a rejeição resultou em 928 trabalhos, os quais não atenderam às questões da pesquisa. A análise na íntegra dos 21 trabalhos restantes foi definida pela leitura de texto completa. Dos 21 trabalhos, foram selecionados 13 artigos para compor a revisão sistemática.

Para definir a inclusão ou exclusão de todos os trabalhos disponíveis que não foram rejeitados na etapa anterior, foi necessário analisá-los de acordo com os critérios apresentados na Figura 2. Na fase de leitura do texto completo, mais artigos foram rejeitados por não responderem “sim” às questões colocadas nos critérios do fluxograma da Figura 2. Por

consequente, 13 artigos fizeram parte do portfólio bibliográfico, vinculados à temática tratamento de água.

Após a elaboração do portfólio e seleção dos artigos, foram elaborados formulários de extração de dados para posterior análise.

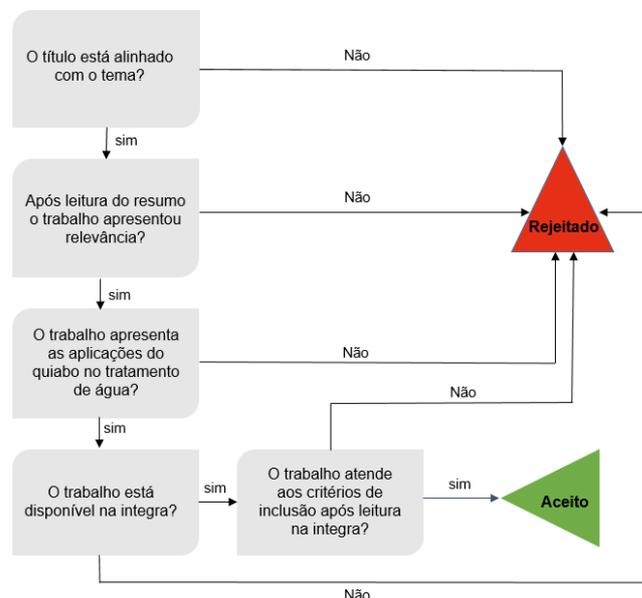


Figura 2. Critérios de inclusão e exclusão dos artigos.

Resultados

Componente do portfólio bibliográfico

A Tabela 2 traz informações dos artigos selecionados para o portfólio bibliográfico, após aplicação dos critérios de seleção (Figura 2). A tabela supracitada lista em ordem alfabética de título, juntamente com o número indicativo da referência, da técnica aplicada e das condições de uso.

A técnica utilizada corresponde à forma em que o fruto quiabo foi processado, de modo a se tornar trabalhável. Inúmeros caminhos podem ser trilhados para se alcançar o objetivo de aplicação. Nesta questão, observou-se que o detalhamento da técnica aplicada, bem como as condições de contorno não são itens praticados por todos os autores. No tocante às etapas das técnicas, identificou-se que algumas trazem recorrência de citação na descrição da técnica (Figura 3). Além disso, também está ilustrado qual ou quais partes do quiabo fizeram parte da amostragem.

Por ser cultivado na natureza, o fruto do quiabeiro pode apresentar na superfície algumas impurezas [17], a exemplo de pedras, restos de vegetais e poeira [18]. Alguns estudos trouxeram informação acerca de higienização prévia do quiabo [14, 17, 18, 23, 24]. Posteriormente à limpeza, alguns estudos recomendam passar pela secagem do fruto, para retirada da umidade natural. A secagem pode ser de forma natural [14, 19, 20, 24] ou em estufa [11, 17, 18, 21, 22, 25].

Para facilitar o processo de secagem do fruto, o tamanho do quiabo foi reduzido [20, 22, 23], com possibilidade de fiação e/ou formato de cubo. Dessa forma, ocorre maior exposição de área superficial para remoção da umidade.

Tabela 2. Trabalhos que compõem o portfólio bibliográfico.

(continua)

Título [citação]	Técnica	Condições de uso
An assessment of the use of native and denatured forms of okra seed proteins as coagulants in drinking water treatment [11].	Secagem, moagem das sementes até obtenção de pó fino.	As sementes foram secas em estufa a 60 °C por 6 horas antes da moagem. As sementes de quiabo foram moídas em pó fino usando moedor de laboratório por 2 min. para obter o pó. Este pó foi peneirado através de conjunto de peneiras de aço inoxidável (600 a 212 µm). O pó retido em 212 e 300 µm foram combinados e utilizados no estudo. Foi adicionando solução de cloreto de sódio (NaCl) 1,0 M ao pó oriundo da semente para fazer uma suspensão de 2 g do pó da semente em 100 mL de NaCl. E da mesma forma, o extrato foi preparado por meio da dissolução de 2 g do pó da semente em 100 mL de água.
An investigation into an indigenous natural coagulante [14].	Secagem, higienização e pulverização.	Foi adicionado água da torneira para produzir suspensão a 0,1 %. Posteriormente a suspensão foi misturada em agitador magnético por 5 min.
A preliminary study on <i>Abelmoschus esculentus</i> fruit mucilage extract as coagulant-flocculant for turbid water treatment [15].	Moagem das sementes até obtenção de pó fino por meio de liquidificador.	O pó foi pesado e adicionado a volume de água, para obtenção de concentração de 5 % (5 g de pó em 100 mL). Toda mistura foi agitada em agitador magnético por 30 min à temperatura ambiente 20 °C usando agitador magnético.
A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification [16].	Não se aplica	Não se refere: estudo fundamentado em revisão de literatura.
Characterisation and performance of three Kenaf coagulation products under different operating conditions [17].	Higienização, secagem de sementes seguida de moagem.	O bioflocculante aquoso (AF) foi mantido a 4° C antes dos ensaios de floculação. Uma amostra de AF foi seca a 40° C até que fosse alcançado peso constante da amostra. Em seguida, o bioflocculante seco (DF) foi armazenado em dessecador à temperatura ambiente antes do uso.
Investigating the characteristic strength of flocs formed from crude and purified Hibiscus extracts in water treatment [18].	Separação das sementes da vagem. Higienização em água corrente, moagem até obtenção granulometria pulverulenta (pó).	As sementes foram secas em estufa por 60 °C por seis horas. Posteriormente, as sementes secas foram moídas em pó fino por 2 min usando moinho de disco de laboratório.
Low cost natural adsorbent technology for water treatment [19].	Secagem natural, moagem em liquidificador doméstico, armazenamento em recipiente hermético e conservação em refrigeração.	A mucilagem foi obtida da mistura de 5 g de goma de quiabo fresca com 100 mL de água centrifugada a 600 rpm durante 20 min.
Optimisation of extraction and sludge dewatering efficiencies of bio-flocculants extracted from <i>Abelmoschus esculentus</i> (okra) [20].	Processamento do fruto quiabo, seguido de secagem: - a coroa do quiabo e sementes foram separadas da vagem e cortadas em cubos de 5 a 10 mm, para seguir para moagem e misturada em água deionizada.	As vagens fatiadas foram moídas e misturadas com água deionizada com carga de solvente pré-determinada em frascos cônicos. Os frascos foram selados e colocados em banho agitador à temperatura (25 a 90 °C), tempo de 0,25 e 5 h, carregamento do solvente (0,5 e 5 w/w) e velocidade de agitação 225 rpm. Após o tempo de extração pré-determinado, os frascos foram mantidos em temperatura ambiente por 1 h para liberação completa da mucilagem na água. O bagaço fruto das vagens foi separado do extrato por filtração, e o bagaço filtrado foi então submetido a centrifugação a 7000 rpm por 20 min. para recuperar o restante do extrato.
Performance evaluation of okra (<i>Abelmoschus esculentus</i>) as coagulant for turbidity removal in water treatment [21].	Quatro seções do quiabo foram utilizadas para o estudo: caules, folhas, vagens e sementes. Secagem natural, moagem de todas as partes até obtenção de pó fino. Conservação em refrigeração.	Para retirar a umidade remanescente, pequenos pedaços secos foram para estufa a 40 °C por 24 h. A extração do agente coagulante foi realizada misturando-se 1g de pó fino de folha, caule, vagem ou semente de quiabo com 100 mL da solução extratora e homogeneizar por 2 min. Dois tipos diferentes de solução de extrato consistindo de NaCl 1,0 M e água destilada foram usados para extrair o agente ativo de coagulação.

Tabela 2. Trabalhos que compõem o portfólio bibliográfico.

(conclusão)

Título [citação]	Técnica	Condições de uso
Statistical modelling of turbidity removal applied to non-toxic natural coagulants in water treatment: A case study [22].	Fatiação do fruto, secagem do quiabo, moagem e peneiramento.	A secagem ocorreu a 60 °C por 24 horas
Techno-economic assessment of scale-up of bio-flocculant extraction and production by using okra as biomass feedstock [23].	Lavagem, do quiabo, separação das sementes, exposição em fatiador de legumes, utilização de extração convencional ou em micro-ondas e filtração. Posteriormente, seguiu-se tanto em processamento em batelada como também o contínuo. Exposição em evaporador de circulação forçada e secador rotativo.	Processo realizado em baixa pressão (50 mm de Hg) para reduzir a pressão parcial da água submersa no gás até promover a remoção de água à temperatura de 50 °C.
Toward green technology: a review on some efficient model plant-based coagulants/flocculants for freshwater and wastewater remediation [24].	Separação do coagulante/floculante em duas formas: - preparo da mucilagem por extração aquosa após remoção da coroa e sementes do quiabo. Extração pós a etapa de filtração para obtenção da mucilagem por meio de álcool e secagem; - Obtenção de material seco naturalmente, moagem peneiramento e armazenamento.	Secagem das vagens limpas. Dosagem de 0,4; 0,8; 3,2; 5; e 25 mg/L, para respectivamente pH de 9,2; 4; 6,6 e 7.
UV-Vis spectroscopy applied in the determination of the degradation time of <i>Abelmoschus esculentus</i> Moench solution used as natural flocculant [25].	Moagem das sementes até obtenção de pó fino.	O quiabo foi seco em estufa a 60 °C por 48 h

Dentre as etapas com maior detalhamento citados nos artigos pertencentes ao portfólio bibliográfico, os estudos de diversos autores [11, 15, 17-22, 24, 25] se destacaram, principalmente no tocante ao processamento do fruto quiabo até a obtenção de material pulverulento, por meio da moagem, que nada mais é do que transformar o fruto quiabo em pó fino. Como amostragem do quiabo, observou-se que a maioria dos estudos utilizaram apenas as sementes do quiabo [11, 15, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 25], enquanto que [20] e [24] usaram tanto a cabeça do quiabo (coroa), como as sementes. Apenas o estudo [21] trouxe esclarecimento no uso do fruto por completo (coroa, vagem e semente). Para tanto, os trabalhos [11], [22] e [24] passaram o material fino obtido por peneiramento. Observou-se ainda que os trabalhos [23] e [24] processaram o fruto quiabo por meio de técnicas “avançadas”. Este termo foi adotado para enfatizar o uso específico de equipamentos laboratoriais e não domésticos, como por exemplo, extração por membranas, evaporador e secador rotativo.

Quanto à conservação do coagulante/floculante, os autores [19] e [21] trouxeram recomendação de refrigeração do material.

Distribuição espacial das publicações e destaque de palavras

Quanto à distribuição espacial das publicações, embora as buscas por artigos relacionados ao tema de pesquisa não tenham sido restritas por ano de publicação, o portfólio bibliográfico foi composto por trabalhos publicados entre 1996 e 2021. Apenas um artigo foi publicado nos anos 90 do século passado, do qual, possivelmente tem-se este registro pelo fato da ideia de utilizar coagulantes naturais para a clarificação de águas turvas, seja pesquisa recente. Entre os anos supracitados, destacam-se 2015 e 2016 com registro de 3 artigos publicados, cada.

Ainda com base nas obras do portfólio bibliográfico, foi possível analisar as palavras-chave escolhidas pelos autores. Com estas palavras-chave elaborou-se a nuvem de palavras representada na Figura 4. A nuvem configura a frequência de uso da entrada da palavra, de forma que quanto maior (em tamanho) a fonte da entrada, maior a frequência de uso. Portanto, observa-se que as palavras de maior recorrência estão relacionadas a "Coagulante", "Quiabo", "Floculação" e "Tratamento de Água", caracterizadas em maior tamanho de fonte desses termos.

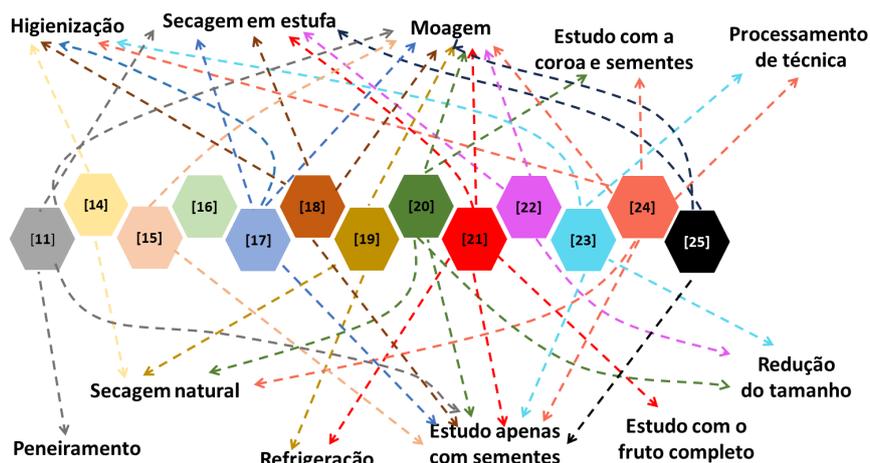


Figura 2. Ramificação das etapas e parte do quiabo utilizados no processamento da técnica aplicada.

Da extração dos 13 trabalhos do portfólio bibliográfico, foram identificadas as respostas acerca das perguntas pré-definidas no protocolo de pesquisa, assim apresentados.



Figura 4. Nuvem de palavras.

Aplicação do fruto quiabo como coagulante, floculante ou concomitantemente

Confirmadas as palavras-chaves, verifica-se que o viés de uma substância atuando como coagulante é desestabilizar a carga elétrica que existe na superfície das impurezas [2, 26], aumentando a probabilidade de encontros (taxa) entre os colóides [27]. As impurezas desestabilizadas na coagulação ainda são pequenas e frágeis. Para estimular e/ou acelerar a aglutinação dessas impurezas para assim formar flocos, pode-se adicionar substâncias floculantes [20]. Existem substâncias que apresentam ambas propriedades com eficiência, a exemplo do fruto quiabo que, por meio das fibras e semente proporciona a desestabilização das partículas (pó do quiabo) e por meio da mucilagem, atua como floculante (textura viscosa) [28]. Assim, o fruto quiabo atuou no tratamento de água, tanto como coagulante, quanto como floculante [28, 21].

A exemplo de pesquisadores que classificaram o quiabo como floculante ou biofloculante, tem-se [20], ao passo que

[14] e [18] avaliaram o quiabo como coagulante e auxiliador de coagulação (floculação).

Com base nesses estudos, observou-se que o quiabo apresenta tanto características de coagulante como de floculante, desde que se utilizem todas as partes do fruto quiabo, o que diferencia é o norte direcionado ao estudo desenvolvido.

Característica da água bruta (água superficial, água pluvial, água sintética)

Com relação às características da água bruta, a água em estudo pode ter diversas origens, seja superficial (rios e lagos), seja pluvial (chuva), seja água subterrânea (aquífero) ou mesmo água preparada (sintetizada em laboratório com intuito de simular a presença de alguns interferentes). Seja qual for o tipo de água estudada, o intuito é obter respostas para o que se deseja avaliar. Para exemplificar, Santos et al. [29] utilizaram o fruto quiabo para tratar água subterrânea.

No presente estudo, todos os artigos pertencentes ao portfólio bibliográfico utilizaram água sintética, cujo objetivo foi simular o comportamento de algum parâmetro específico. A exemplo de estudos com águas sintéticas tem-se a utilização de água turva sintética com adição de caulim [11], na qual aplicou o quiabo em água sintética com variação de turbidez, testada até 3000 uT [14].

Aplicação do fruto quiabo individualmente ou associado a outras substâncias

A fim de verificar o desempenho do fruto quiabo individualmente e também em parceria com outras substâncias, observou-se que a literatura traz ambas as situações.

Jones e Bridgeman [11] adicionaram sulfato de alumínio ao tratamento com quiabo, e perceberam que o tamanho dos flocos aumentou de 300 mm para 696 mm, com a adição de 50 mg/L. Santos et al. estudaram o fruto quiabo

individualmente e também associado com o sulfato de alumínio [29]. Neste estudo, observou-se que o uso dos coagulantes estudados, tanto individualmente quanto associados entre si, trouxeram melhoria na qualidade da água.

Ramesh et al. [19] adicionaram alúmen como auxiliador do quiabo. No estudo, a dosagem mais eficiente utilizada para a *Moringa oleifera* foi de 100 mg/L, enquanto que a dosagem utilizada para o alúmen foi de 240 mg/L. Observou-se melhoria na qualidade da água com uso da *Moringa oleifera* e alúmen de forma semelhante e a remoção também foi significativa para ambas as amostras de água, tanto com quiabo quanto com moringa.

Recomendação de dosagem utilizada

Por atuar como coagulante/floculante natural, observou-se que a dosagem recomendada para o quiabo varia entre autores. Jones e Bridgeman [11] recomendam utilizar 2 % da mistura entre pó da semente do fruto quiabo e cloreto de sódio. Patale e Pandya [15] estudaram como dosagem do floculante de 0,1 mg, 0,2 mg, 0,4 mg, 0,8 mg, 1,2 mg, 1,6 mg e 2,0 mg por litro, considerando a dosagem ideal de 0,4 mg/L. Jones e Bridgeman [18] recomendaram 0,123 mg/L da proteína do quiabo, enquanto que Ramesh et al. [19] em teste de coagulação trabalharam com dosagem de 3 mg/L e 75 mg/L [21].

Patale e Pandya [15] afirmam o quão é importante definir a dosagem a ser estudada, pois é por meio dessa escolha que se determina a condição ótima para o desempenho da mucilagem do fruto de *A. esculentus* nas etapas de coagulação e floculação.

Santos et al. [29] realizaram estudos com o fruto quiabo (em pó), e também, este associado ao sulfato de alumínio. As dosagens que melhor se destacaram para 2 L de água bruta utilizando dosagens de coagulantes com concentração de 1 % foram: 2,0 mL para o sulfato de alumínio (SA), 0,5 mL para o pó do quiabo (QI), e 2,0 mL para a associação de coagulantes (SAQI).

Eficiência na remoção de parâmetros analíticos

É por meio da remoção dos parâmetros analisados que a técnica de tratamento de água é avaliada. Havendo essa remoção, afirma-se que o sistema trouxe eficiência. Lee et al. [20] obtiveram condições otimizadas de remoção de sólidos superior a 98 % e recuperação de água em torno de 68 %.

Observa-se na literatura bom desempenho quanto ao parâmetro turbidez. No estudo apresentado por [11], os menores valores de turbidez residual observados foram para 40 mg/L (100 uT) e 60 mg/L (200 uT), com eficiências de remoção correspondentes de 91 e 98 %, respectivamente. Ramesh et al. [19] obtiveram maior eficiência de remoção (58 %) para águas com baixa turbidez e 83 % para águas com turbidez mais significativa, correspondente ao pH ideal de 5,4.

Patale e Pandya [15] em experimentos de teste de jarro, observaram pH e tempo ótimos para variação de turbidez de

10, 25, 50, 75 e 100 uT na faixa de dosagem do floculante, de 0,1 mg, 0,2 mg, 0,4 mg, 0,8 mg, 1,2 mg, 1,6 mg e 2,0 mg por litro, do qual apresentou melhor remoção para 0,4 mg/L. Para se alcançar a dosagem otimizada, utilizou-se variação de pH, (6,0; 7,0; 7,5; 8,0 e 9,0). A redução máxima de turbidez foi registrada em pH 7,5 para todos níveis de turbidez (10, 25, 50, 75 e 100 uT). Além disso, o estudo também mostrou que o extrato do fruto da mucilagem de *Abelmoschus esculentus* tem maior eficiência na remoção significativa turbidez em comparação com a baixa turbidez. A maior remoção de turbidez (96 %) foi obtida com turbidez inicial na ordem de 100 uT, enquanto a menor remoção da turbidez foi 80 %, para água contendo turbidez inicial de 10 uT. Isso revela que o extrato de mucilagem de *A. esculentus* foi eficaz no tratamento de águas altamente turvas.

Fahmi et al. [21] obtiveram a eficiência ótima de remoção de turbidez com a semente de quiabo de 64,5 %, o que foi alcançado na dosagem de 25 mg/L. Além disso, a folha e a vagem do quiabo apresentaram tendência semelhante de remoção de turbidez com a semente do quiabo. No entanto, a dosagem ótima para remoção de turbidez alcançada foi na dosagem de 75 mg/L, com eficiência de remoção de 54,5 e 49,0 %, respectivamente.

Desse modo, observou-se que as eficiências encontradas variaram entre 54,5 e 98 %. Quando a água apresenta turbidez mais expressiva, as eficiências do tratamento de água com quiabo são melhores.

No estudo desenvolvido por Santos et al. [29] todas as composições de coagulantes apresentaram eficiência de remoção, como a associação do quiabo e sulfato de alumínio que obteve eficiência de remoção de 59,26 % para cor aparente, o uso apenas do sulfato de alumínio que obteve remoção de 97,53 % para cor verdadeira e apenas o fruto quiabo com 100 % de remoção de turbidez após a filtração.

Conclusão

Com o presente trabalho pode-se observar mais um uso de *A. esculentus*, além do destino alimentício, como é conhecido.

Diante do exposto, a revisão sistemática contabilizou no portfólio bibliográfico 13 publicações voltadas ao tratamento de água, utilizando *Abelmoschus esculentus* como coagulante/floculante em águas, enquadradas em técnicas de extração e preparo do quiabo de forma simplificada, aplicadas em diferentes maneiras, com exposição da eficiência de remoção de turbidez em diferentes tipos de águas, principalmente sendo adicionado caulim na água. O número diminuto de trabalhos pertencente ao portfólio indica que ainda existem lacunas a serem abordadas no tratamento de água por meio do *Abelmoschus esculentus*.

Para exemplificar algumas lacunas, têm-se: comparação do tratamento da água com o coagulante formado unicamente pelas partes do quiabo: coroa x semente x casca x tudo?, qual a influência do modo de preparo do coagulante para eficiência?, será que coagulantes de quiabos orgânicos apresentam diferenças do quiabo convencional?

Por meio do presente estudo, registraram-se artigos datados a partir de 1996, porém o número de trabalhos foi mais significativo com publicações mais recentes (2015 e 2016), o que mostra que o tema é pertinente e atual.

Desse modo, o estudo evidenciou caminhos e possibilidade explorados por meio do uso de *Abelmoschus esculentus* voltado ao tratamento de água. A substituição de produtos químicos é algo emergente, não apenas por causa dos seres humanos, mas principalmente para o meio ambiente. Tendo em vista a necessidade de ampliação nas ETA e a construção de outras para se alcançar a universalização do acesso a água tratada com qualidade, quantidade e regularidade, é importante o conhecimento de técnicas mais sustentáveis e alternativas viáveis.

Agradecimentos

Agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela aquisição da bolsa de pesquisa a nível do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), no período de setembro de 2022 a agosto de 2023, cujo número de processo é 118437/2022-4.

Contribuição dos autores

L. C. Azevêdo: Curadoria de dados, Análise formal, Redação – rascunho original; A. J. Lima: Conceituação, Curadoria de dados, Metodologia, Administração de projetos, Recursos, Validação, redação – Revisão e edição; D. G. Santos: Investigação, Administração de projetos, Recursos, Supervisão, Visualização, redação – Revisão e edição; D. C. G. S. Michelan: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Captação de recursos, Investigação, Metodologia, Administração de projetos, Recursos, Validação, Redação – Revisão e edição. Todos os autores aprovaram a versão final do artigo

Conflitos de Interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesses.

Referências

- [1] J. D. P. Theodoro, Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano. Tese, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Programa de Pós Graduação em desenvolvimento de Processos, Maringá, 2012.
- [2] J. Duan, J. Gregory, Coagulation by hydrolysing metal salts. *Adv. Colloid interface Sci.*, vol 100, pp. 475-502, 2003.
- [3] B. V. Lopes, Eficiência de Coagulantes na remoção de diferentes concentrações de ferro e manganês para ETA Terras Baixas. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pelotas, Programa de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, Pelotas, 2014.
- [4] L. A. Santos, D. C. G. S. Michelan, T. M. Jesus, Verificação da produção de lodo de ETA em função da quantidade e da qualidade da água. *BIOENG*, vol 5, n. 2, pp. 235-258, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n2p235-258>.
- [5] M. C. Bongiovani, F. P. Camacho, K. C. Valverde, T. R. T. Santos, L. Nishi, R. Bergamasco, Evaluation of trihalomethanes formation using combined process coagulation/floculation/membranes in water treatment. *Chemical Engineering Transactions*, vol 43, pp. 2323-2328, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1543388>.
- [6] M. Fraga-Corral, P. García-Oliveira, A. G. Pereira, C. Lourençolopes, C. Jimenez-Lopez, M. A. Prieto, J. Simal-Gandara, Technological application of tanin-based extracts. *Molecules*, vol 25, n. 614, pp. 1- 27, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25030614>.
- [7] D. Azevedo, H. D. Burrows, T. Costa. Caracterização fotofísica do polímero luminescente poly-3-diethylbutylsulfonate-hexyl-thiophene (p3debaht) em solução e sua interação com diferentes surfactantes. Dissertação (Mestrado), Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2013.
- [8] D. C. G. S. Michelan, W. N. A. Santos, T. S. Rosa, D. G. Santos, R. C. S. Jesus, Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com moringa e toxicidade do lodo. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, vol 26, n. 5, pp. 955–963, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200314>.
- [9] A. Diaz, N. Rincon, A. Escorihuela, N. Fernandez, E. Chacin, C. F. Forster, A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. *Process Biochem.*, vol 35, pp. 391-395, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(99\)00085-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(99)00085-0).
- [10] I. Bodlund, A. R. Pavankumar, R. Chelliah, S. Kasi, K. Sankaran, G. K. Rajarao, Coagulant proteins identified in Mustard: a potential water treatment agent. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol 11: 873e880, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0282-4>.
- [11] A. N. Jones, J. Bridgeman, An assessment of the use of native and denatured forms of okra seed proteins as coagulants in drinking water treatment. *Journal of Water and Health*, vol 14, n 5, pp. 768–779, 2016. DOI: <https://doi.org/10.2166/wh.2016.015>.
- [12] M. Agarwal, R. Srinivasan, A. Mishra, Study on flocculation efficiency of okra gum in sewage waste water. *Macromolecular Materials and Engineering*, vol 286, 560e563, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1002/1439-2054\(20010901\)286:9<560::AID-MAME560>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/1439-2054(20010901)286:9<560::AID-MAME560>3.0.CO;2-B).

- [13] A. L. A. Santos, Eficiência do tratamento de água subterrânea ao utilizar coagulante químico e coagulante/floculante natural, separadamente e associados. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Sergipe, Programa de Graduação em Engenharia Civil, 2022.
- [14] A. A. Al-Samawi, E. M. Shokralla. An investigation into the indigenous natural coagulant. *Journal of Environmental Science Health. A Toxic Hazard Subst. Environ. Eng.*, vol 31, n. 8, pp. 1881–1897, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/10934529609376463>.
- [15] V. Patale, J. Pandya, A preliminary study on *Abelmoschus esculentus* fruit mucilage extract as coagulant-flocculent for turbid water treatment. *Poll. Res.*, vol 32, n. 2, pp. 87-91, 2012.
- [16] S. Y. Choy, K. M. N. Prasad, T. Y. Wu, R. N. Ramanan, A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol 12, n. 1, pp. 367–390, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0446-2>.
- [17] B. U. Okoro, S. Sharifi, M. Jesson, J. Bridgeman, R. Moruzzi, Characterisation and performance of three Kenaf coagulation products under different operating conditions. *Water Research*, vol 188, n. 116517, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116517>.
- [18] A. N. Jones, J. Bridgeman, Investigating the characteristic strength of flocs formed from crude and purified Hibiscus extracts in water treatment. *Water Research*, 103: 21–29, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.019>.
- [19] S. Ramesh, J. S. Sudarsan, M. Jothilingam, Low cost natural adsorbent technology for water treatment. *RASAYAN Journal of Chemistry*, vol 9, n. 3, pp. 325-330, 2016. Disponível em: <http://www.rasayanjournal.com> <http://www.rasayanjournal.co.in>.
- [20] C. S. Lee, M. F. Chong, J. Robinson, E. Binner, Optimisation of extraction and sludge dewatering efficiencies of bio-flocculants extracted from *Abelmoschus esculentus* (okra). *Journal of Environmental Management*, vol 157, pp. 320–325, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.04.028>
- [21] M. R. Fahmi, N. Hamidin, C. Z. A. Abidin, M. A. Umi-Fazara, M. D. I. Hatim, Performance evaluation of okra (*Abelmoschus esculentus*) as coagulant for turbidity removal in water treatment. *Key Engineering Materials*, vol 594–595, pp. 226–230, 2014. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.226>.
- [22] N. H. Al-Saati, T. K. Hussein, M. H. Abbas, K. Hashim, Z. N. Al-Saati, P. Kot, M. Sadique, M. H. Aljefery, I. Carnacina Statistical modelling of turbidity removal applied to non-toxic natural coagulants in water treatment: a case study. *Desalination and Water Treatment*, vol 150, pp. 406–412, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5004/dwt.2019.23871>.
- [23] C. S. Lee, M. F. Chong, J. Robinson, E. Binner, R. Gomes, J. Robinson, Techno-economic assessment of scale-up of bio-flocculant extraction and production by using okra as biomass feedstock. *Chemical Engineering Research and Design*, vol 132, pp. 358–369, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.01.050>.
- [24] B. Othmani, M. G. Rasteiro, M. Khadhraoui, Toward green technology: a review on some efficient model plant-based coagulants/flocculants for freshwater and wastewater remediation. *Clean Technologies and an Environmental Policy*, vol 22, pp. 1025-1040, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01858-3>.
- [25] D. M. Sala, P. Valderrama, A. P. Peron, F. V. Silsa-Medeiros, UV–Vis Spectroscopy applied in the determination of the degradation time of *Abelmoschus esculentus* Moench solution used as natural flocculant. *Water, air & soil pollution*, vol. 232, 368, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05307-9>.
- [26] E. M. S. Silva, A. C. Silva, A. S. Ribeiro, S. H. Cruz, Uso do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) como floculante na desestabilização de emulsões óleo/água. *HOLOS*, Ano 30, vol 3 (edição especial), pp. 256-263, 2014.
- [27] H. Cui, X. Huang, Z. Yu, P. Chen, X. Cao, Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC Advances*, vol 10, n. 34, pp. 20231-20244, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0RA02979C>.
- [28] L. Carneiro-Marra, L. Sad, M. Silva-Batista, Evaluation of mucilage and powder of Okra as bio-flocculant in water treatment. *Revista Ion*, vol 32, pp. 53-58, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18273/revion.v32n2-2019005>.
- [29] A. L. A. Santos, T. S. Rosa, D. C. G. S. Michelan, Eficiência do tratamento de água por meio de coagulantes inorgânicos sulfato de alumínio e orgânico *Abelmoschus esculentus* ou quiabo separadamente e associados. *Gaia Scientia*, vol 16, n. 3, pp. 84-108, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1981-1268.2022v16n3.63769>.



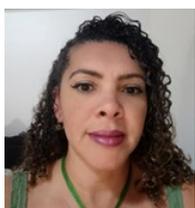
Larissa Coêlho de Azevêdo é graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária na Universidade Federal de Sergipe (UFS). Atualmente atua como pesquisadora em tratamento de água no laboratório de saneamento da Universidade Federal de Sergipe UFS.



Anderson de Jesus Lima é mestre e graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Pesquisador em Tratamento de água pela UFS.



Débora de Gois Santos é Docente a nível de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe (UFS).



Denise Conceição de Gois Santos Michelan é Docente a nível de Graduação e Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Sergipe (UFS).