



Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus "José Santilli Sobrinho"

GABRIEL HENRIQUE CHAGAS

**UTILIZAÇÃO DO POLÍMERO NATURAL DO QUIABO (*Abelmoschus
esculentos* L. Moench) NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE
ABASTECIMENTO HUMANO**

**Assis/SP
2021**



Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus "José Santilli Sobrinho"

GABRIEL HENRIQUE CHAGAS

**UTILIZAÇÃO DO POLÍMERO NATURAL DO QUIABO (*Abelmoschus
esculentos* L. Moench) NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE
ABASTECIMENTO HUMANO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Química Industrial do Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA e a Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, como requisito parcial à obtenção do Certificado de Conclusão.

Orientando: Gabriel Henrique Chagas
Orientadora: Dr^a. Mary Leiva de Faria

Assis/SP
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

C433u CHAGAS, Gabriel Henrique
Utilização do polímero natural do quiabo (*abelmoschus esculentos* L. moench) no tratamento de água de abastecimento humano / Gabriel Henrique Chagas. – Assis, 2021.

47p.

Trabalho de conclusão do curso (Química Industrial) -
Fundação Educacional do Município de Assis-FEMA.

Orientadora: Dra. Mary Leiva de Faria

1.Polímero natural 2.Floculação-coagulação

3.Quiabo

CDD628.162

UTILIZAÇÃO DO POLÍMERO NATURAL DO QUIABO (*Abelmoschus
Esculetos* L. Moench) NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO
HUMANO

GABRIEL HENRIQUE CHAGAS

Trabalho de Conclusão do Curso Química Industrial
apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de
Assis, como requisito do Curso de Graduação, avaliado
pela seguinte comissão examinadora:

Orientadora: _____
Dr^a. Mary Leiva de Faria

Examinadora: _____
Dr^a. Patrícia Cavani Martins de Mello

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha família e amigos
que percorreram toda essa trajetória comigo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado oportunidade de estar realizando este curso e ter me dado forças para a conclusão do mesmo.

A minha família, que sempre me apoiou nas minhas decisões e mantiveram comigo em todos os momentos, e me proporcionaram, com a ajuda de Deus, a realização deste curso.

Agradeço também aos meus amigos da faculdade e amigos fora dela, por terem me acompanhado durante todo o percurso, sempre me apoiando e me ajudando na medida do possível.

A todos os professores, pela paciência e pela sabedoria/conhecimento que nos passaram, em específico a minha Orientadora, Dr^a Mary Leiva de Faria que também é coordenadora do curso, por sempre estar nos auxiliando e apoiando.

Não podia deixar de agradecer os meus amigos que sempre realizamos os trabalhos em grupo, Leonardo Donadoni, Rafael Wolke, Vinicius da Cunha e por último, mas a mais importante, Ana Beatriz Corsini, a minha dupla para todos os momentos, da faculdade para a vida.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

A água para consumo humano deve ser pura e saudável, apresentando parâmetros físico-químicos e biológicos que considerem padrões de potabilidade. Os sistemas convencionais para o tratamento de água para abastecimento humano envolvem etapas de coagulação/flotação. Estas duas etapas são vistas como eficientes na remoção de colóides, partículas suspensas e dissolvidas, sendo o método mais empregado devido ao baixo custo de operação. Os coagulantes químicos tradicionais mais utilizados nas estações de tratamento são à base de sais inorgânicos metálicos, como por exemplo, sulfato de alumínio, que podem não ser eficientes, além de exigir rígido controle acerca do residual de alumínio na água tratada destinada ao consumo humano, pois este pode causar problemas neurológicos. Além disso, produzem grande quantidade de lodo, o qual pode gerar um sério problema com relação à sua disposição e tratamento devido ao fato do alumínio não ser biodegradável. Em substituição a esses coagulantes sintéticos tem-se buscado coagulantes naturais que possam ser utilizados de forma individual ou juntamente com outros sais coagulantes tradicionais, exercendo o papel de coagulante ou auxiliar de floculação no tratamento de água. Esses coagulantes/floculantes naturais surgem como alternativa para reduzir a quantidade de sais metálicos, podendo também funcionar como auxiliares na obtenção de água adequada ao consumo humano. Dentre os coagulantes/floculantes naturais utilizados no tratamento de água encontra-se o quiabo (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), o qual apresenta cadeias longas de polissacarídeos que podem remover impurezas da água, bem como conceder peso e tamanho às partículas, ajudando nos processos de clarificação. O quiabo pode ser utilizado na forma de mucilagem extraída da vagem (baba do quiabo) ou na forma de solução obtida a partir do pó seco da vagem pulverizada. Assim, o presente trabalho teve como objetivo descrever a eficiência do polímero natural do quiabo como agente floculante e coagulante no tratamento de água de abastecimento humano. Os dados levantados em revisão de literatura mostram a eficiência do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) como auxiliar de floculação no tratamento de água e como fonte de redução do uso de coagulantes químicos. Essa redução de coagulantes químicos pode minimizar, por exemplo, o risco de contaminação da água por alumínio residual, o qual está associado a doenças neurodegenerativas como Parkinson e Doença de Alzheimer, em decorrência da exposição humana a este metal. Além disso, o emprego de polímeros naturais, como o quiabo, leva a formação de lodos em quantidades reduzidas se comparadas com as dos coagulantes químicos, e com menores teores de metais. Tais lodos são ainda menos volumosos e facilmente biodegradáveis, contribuindo assim com a preservação ambiental.

Palavras Chaves: Polímero natural, quiabo, floculação/coagulação.

ABSTRACT

Water for human consumption must be pure and healthy, with physical-chemical and biological parameters that consider drinking standards. Conventional systems for treating water for human supply involve coagulation/flotation steps. These two steps are seen as efficient in the removal of colloids, suspended and dissolved particles, being the most used method due to the low operating cost. The traditional chemical coagulants most used in treatment plants are based on metallic inorganic salts, such as aluminum sulphate, which may not be efficient, in addition to requiring strict control over the residual aluminum in treated water intended for human consumption, as this can cause neurological problems. In addition, they produce a large amount of sludge, which can generate a serious problem with regard to its disposal and treatment due to the fact that aluminum is not biodegradable. In replacement of these synthetic coagulants, natural coagulants that can be used individually or together with other traditional coagulant salts, playing the role of coagulant or flocculation aid in water treatment, have been sought after. These natural coagulants/flocculants appear as an alternative to reduce the amount of metallic salts, and can also act as auxiliaries in obtaining water suitable for human consumption. Among the natural coagulants/flocculants used in water treatment is okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), which has long chains of polysaccharides that can remove impurities from the water, as well as giving weight and size to the particles, helping in the processes of clarification. Okra can be used in the form of mucilage extracted from the pod (okra drool) or in the form of a solution obtained from the dry powder of the powdered pod. Thus, the present work aimed to describe the efficiency of the natural okra polymer as a flocculating and coagulating agent in the treatment of human water supplies. Data collected in a literature review show the efficiency of okra (*Abelmoschus esculentus*) as a flocculation aid in water treatment and as a source of reducing the use of chemical coagulants. This reduction in chemical coagulants can minimize, for example, the risk of water contamination by residual aluminum, which is associated with neurodegenerative diseases such as Parkinson's and Alzheimer's Disease, as a result of human exposure to this metal. Furthermore, the use of natural polymers, such as okra, leads to the formation of sludge in reduced amounts compared to chemical coagulants, and with lower metal contents. Such sludges are even less bulky and easily biodegradable, thus contributing to environmental preservation.

Keywords: Natural polymer, okra, flocculation/coagulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Coagulação de partículas coloidais por neutralização de cargas.....	19
Figura 2: Coagulação por agregação dos colóides no precipitado formado.....	20
Figura 3: Coagulação por ligação entre partículas através de polímeros.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Características típicas do lodo de sulfato de alumínio.....	26
Tabela 2:	Características típicas do lodo de sais de ferro.....	27
Tabela 3:	Características típicas do lodo de cal.....	27

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. ÁGUA.....	15
2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁGUA	15
2.1.1 Cor.....	16
2.1.2 Turbidez.....	16
2.1.3 Sólidos.....	17
2.1.4 Temperatura.....	17
2.2– CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA ÁGUA.....	18
2.2.1 pH.....	18
2.2.2 Acidez e alcalinidade.....	19
2.2.3 Dureza.....	19
2.3 – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DA ÁGUA.....	20
3. TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO.....	21
3.1-COAGULAÇÃO.....	21
3.1.1 Compressão da camada difusa.....	23
3.1.2 Adsorção e Neutralização de Carga.....	24
3.1.3 Varredura.....	25
3.1.4 Adsorção e formação de pontes químicas.....	26
3.2 – FLOCULAÇÃO.....	27
3.3 – COAGULANTES.....	28
3.3.1 – Coagulantes Químicos.....	28
3.3.2 – Coagulantes Naturais.....	29
4. O LODO GERADO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....	31
4.1 LODOS PROVENIENTES DE COAGULAÇÃO.....	31

4.1.1 Lodos de Sulfato de Alumínio.....	32
4.1.2 Lodos de Coagulantes Férricos.....	33
4.2 LODOS PROVENIENTES DE ABRANDAMENTO POR CAL.....	33
5. O QUIABO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	34
5.1 QUIABO.....	34
5.2 ESTUDOS UTILIZANDO O QUIABO COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO.....	35
6. CORANTES NATURAIS COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE INDICADORES.....	38
6.1 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
6.1.2 MATERIAIS.....	39
6.1.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	39
7. CONCLUSÃO.....	41
8. REFERÊNCIAS.....	42

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, os mananciais superficiais são os principais recursos hídricos empregados para abastecimento público. Contudo, a qualidade da água desses mananciais, na maioria das vezes, encontra-se danificada (BONGIOVANI et al., 2010).

A água para consumo humano deve ser pura e saudável, apresentando parâmetros físico-químicos e biológicos que considerem padrões de potabilidade (BEZERRA et al., 2019). A Lei Federal 11.445 (BRASIL, 2007), também conhecida como a Lei do Saneamento, assegura a todo brasileiro água de qualidade para uso, estando os parâmetros estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/11.

Com base nessas diretrizes, as empresas responsáveis pelo tratamento da água recorrem a diversos métodos e materiais que possibilitem atender o que a legislação estabelece. Os sistemas convencionais para o tratamento de água para abastecimento humano envolvem etapas de coagulação/flotação. Estas duas etapas são vistas como eficientes na remoção de coloides, partículas suspensas e dissolvidas, sendo o método mais empregado devido ao baixo custo de operação (QUESADA et al., 2019; WEST, 2016).

Os coagulantes químicos tradicionais mais utilizados nas estações de tratamento são à base de sais inorgânicos metálicos, como por exemplo, sulfato de alumínio, que podem não ser eficientes, além de exigir rígido controle acerca do residual de alumínio na água tratada destinada ao consumo humano, pois este pode causar problemas neurológicos (BONGIOVANI et al., 2010; WEST, 2016). Embora apresentem ampla utilização, os sais de alumínio são coagulantes que são sensíveis a variações de pH e de temperatura e requerem também volumes consideráveis para um tratamento efetivo. Além disso, produzem grande quantidade de lodo, o qual pode gerar um sério problema com relação à sua disposição e tratamento devido ao fato do alumínio não ser biodegradável, (QUESADA et al, 2019; CARVALHO 2008).

Em substituição a esses coagulantes sintéticos tem-se buscado coagulantes naturais que possam ser utilizados de forma individual ou juntamente com outros sais coagulantes tradicionais, exercendo o papel de coagulante ou auxiliar de floculação no tratamento de água. Esses coagulantes naturais exibem diversas vantagens em relação aos coagulantes

químicos, visto que são biodegradáveis e não tóxicos, e produzem menor quantidade de lodo e com menores teores de metais (BONGIOVANI et al., 2010; QUESADA et al, 2019).

Esses coagulantes/floculantes naturais surgem como alternativa para reduzir a quantidade de sais metálicos, podendo também funcionar como auxiliares na obtenção de água adequada ao consumo humano. Dentre os coagulantes/floculantes naturais utilizados no tratamento de água encontra-se o quiabo (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), o qual apresenta cadeias longas de polissacarídeos que podem remover impurezas da água, bem como conceder peso e tamanho às partículas, ajudando nos processos de clarificação (QUESADA et al, 2019; WEST, 2016).

O quiabo pode ser utilizado na forma de mucilagem extraída da vagem (baba do quiabo) ou na forma de solução obtida a partir do pó seco da vagem pulverizada. O quiabo, um polímero natural aniônico, apresenta bom desempenho, sendo utilizado junto com os coagulantes metálicos de alumínio e ferro, aperfeiçoando a eficiência da floculação, bem como de etapas posteriores, como sedimentação e flotação, filtração e desinfecção (BEZERRA et al., 2019, LIMA 2007). Assim, o presente trabalho avaliou eficiência do polímero natural do quiabo como agente floculante e coagulante no tratamento de água de abastecimento humano.

2. ÁGUA

Nos últimos anos, cada vez mais pessoas em todo o mundo têm considerado que, além de atender aos padrões de qualidade estipulados por lei, os sistemas de abastecimento de água também devem apresentar um nível de desempenho em que os consumidores possam confiar (KONRADT-MORAES, 2009).

Os recursos hídricos estão sujeitos a supervisão inadequada e impactos ambientais devido ao abuso, o que leva a conflitos na disponibilidade de água e diminui a qualidade da mesma. Apesar das fontes de água serem abundantes, a distribuição na superfície terrestre é muito pobre. Em algumas áreas, a quantidade de água retirada é muito maior do que a quantidade de água fornecida, resultando em um desequilíbrio dos recursos hídricos disponíveis. Com o crescimento da população e das atividades econômicas, muitos países estão atingindo rapidamente condições de escassez de água ou enfrentando as limitações de desenvolvimento econômico. A demanda por água está crescendo rapidamente, da qual a demanda de irrigação é responsável por cerca de 70% a 80%, a demanda por água industrial é inferior a 20% e a demanda doméstica por água representa apenas 6%. (KONRADT-MORAES, 2009).

A carência e a destruição da qualidade da água são as causas de muitas doenças, como cólera, dengue, febre tifóide, malária, hepatite infecciosa, disenteria e assim por diante. Alguns estudos mostram que as doenças de veiculação hídrica são responsáveis por 65% das hospitalizações de crianças nas redes públicas. (CARVALHO, 2008).

A água possui diversos componentes do próprio ambiente natural ou diversos componentes introduzidos pela ação do homem, ou seja, por atividades antrópicas. A caracterização da água possui vários parâmetros que representam indicadores de qualidade que devem ser considerados, os quais representam suas propriedades físicas, químicas e biológicas. (CARVALHO, 2008).

2.1 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁGUA

Ao selecionar a tecnologia de processamento a ser utilizada, as características físicas podem ser decisivas. Os principais parâmetros usados para caracterizar fisicamente a água natural são cor, turbidez, teor de sólidos nas diferentes frações, temperatura, sabor e odor. (CARVALHO, 2008).

2.1.1 Cor

A cor geralmente se deve à matéria orgânica da suspensão coloidal, mas também pode ser devida aos minerais da solução, como o colóide ou a suspensão. Quando a água tem turbidez extra além da cor, pode-se dizer que a cor é aparente. Uma vez que a turbidez é removida, o resíduo medido é a cor verdadeira devido às partículas coloidais carregadas negativamente (CARVALHO, 2008).

A cor da água pode ser causada pela decomposição de matéria orgânica, pela presença de íons metálicos naturais, como ferro e manganês, e pelo descarte de vários tipos de resíduos industriais. A cor natural nas águas, em especial a cor verdadeira, tem como agentes causadores, substâncias húmicas e fúlvicas, que se mostram sempre em estado coloidal. À medida que a matéria orgânica natural se decompõe, ocorre a formação das substâncias húmicas, que são classificadas de acordo com sua solubilidade em diferentes condições. (PAVANELLI, 2001; RITTER, 2013).

2.1.2 Turbidez

A turbidez refere-se a qualquer tipo de matéria suspensa presente na água, cujo tamanho pode variar desde suspensões grosseiras aos colóides. Areia, argila, descarga de esgoto doméstico ou industrial e microrganismos em geral, são os agentes causadores da turbidez. As partículas que causam turbidez também podem conter temporariamente os microrganismos decorrentes da ação do cloro durante o processo de desinfecção, comprovando a contaminação de águas com teores de cloro residual em certos casos. (KONRADT-MORAES, 2009; CARVALHO, 2008).

A turbidez é um dos parâmetros mais importantes a ser definido. Além das mudanças na fase de coagulação / floculação (a presença ou ausência de turbidez revela a quantidade

de produtos químicos necessários para que o tratamento eficaz ocorra), a turbidez também é um fator importante no processo de sedimentação, filtração e desinfecção. Através desse parâmetro, certas técnicas de tratamento podem ser definidas, bem como outras técnicas podem ser excluídas, tendo em vista que não teriam impacto se fossem implantadas em águas com certa turbidez (WEST, 2016).

2.1.3 Sólidos

Segundo Ritter (2013, p. 23), “os sólidos correspondem a toda matéria que aparece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-fixada, durante determinado tempo”.

2.1.4 Temperatura

A temperatura, que mede a intensidade do calor, é importante porque interfere na velocidade das reações químicas, na solubilidade dos gases e pode realçar o paladar e o olfato. Também afeta a eficiência da desinfecção, bem como o desempenho dos dispositivos de mistura rápida, floculação, decantação e filtração. (CARVALHO, 2008).

A velocidade de decantação é maior quanto mais quente estiver a água, visto que as moléculas ficam mais ativas, levando a um aumento da dissolução e velocidade de reação de qualquer composto químico adicionado à água com os sólidos presentes. A quantidade de coagulante também é influenciada pela temperatura, sendo seu consumo menor à temperaturas mais elevadas, visto que a redução da viscosidade da água facilita a dispersão e mistura das substâncias na água, o que favorece o processo de hidrólise do coagulante (WEST, 2016).

Scalize et al. (2012) efetuaram um estudo para estimar a influência da temperatura na eficiência da coagulação. Para este estudo foram testadas amostras com variação de temperatura e a utilização de diferentes coagulantes químicos. Quando utilizou-se sulfato de alumínio como coagulante, os resultados indicaram que a eficiência do coagulante aumenta com a elevação da temperatura, mostrando que este coagulante é mais

apropriado em localidades em que a temperatura da água se encontra mais elevada, visto que em temperaturas mais baixas a remoção do turbidez não foi tão eficiente.

2.2 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA ÁGUA

As propriedades químicas da água são decorrentes da presença de substâncias dissolvidas e tendo em vista as consequências que essas substâncias podem acarretar ao organismo dos consumidores, essas propriedades são de extrema relevância. Além disso, certos elementos ou compostos químicos na água bruta podem inviabilizar o uso de certas tecnologias de tratamento. Os parâmetros químicos de qualidade são: pH, alcalinidade e acidez e dureza. (CARVALHO, 2008; KONRADT-MORAES, 2009).

2.2.1 pH

O pH é um fator importante de vários processos envolvidos no tratamento de água para abastecimento. Para serem eficientes, a coagulação e a floculação dependem de um pH ótimo. Esse pH ótimo é aquele em que as partículas coloidais exibem menor carga eletrostática superficial (WEST, 2016).

Quando um coagulante, como o sulfato de alumínio, é disperso em água este sofre reações de hidrólise, produzindo íons H^+ que reagem com os compostos responsáveis pela alcalinidade, que irão adsorver íons carregados positivamente, levando a formação de um gel de carga positiva, o qual neutraliza as cargas negativas dos colóides e ajuda na sua aglomeração (CARDOSO, 2003; WEST, 2016).

O tipo e a quantidade de coagulante utilizado sofre interferência do pH. O cloreto férrico, por exemplo, atua de forma eficiente em pH mais baixo do que o sulfato de alumínio. A limitação na quantidade do coagulante se deve a faixa de pH ideal para os mecanismos de coagulação. Em decorrência das reações causadas pela dispersão dos coagulantes na água, ocorre redução do pH, que provoca diminuição na eficácia da coagulação (PAVANELLI, 2001).

De acordo com a Portaria M.S. nº 2914 (BRASIL, 2011), o valor do pH da água para distribuição deve ser mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

2.2.2 Acidez e alcalinidade

De acordo com Ritter (2013, p. 24), “a alcalinidade refere-se à capacidade da água de neutralizar ácidos, sendo o indicador geral da capacidade de amortização ou tamponamento da água e acidez é a capacidade da água em neutralizar bases”.

Os principais componentes que conferem características básicas à água são íons bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos. Em decorrência da floração de algas, as quais retiram gás carbônico e provocam assim a elevação de pH para valores até 10, carbonatos e hidróxidos podem estar presentes em águas eutrofizadas. A alcalinidade por hidróxidos tem como fonte principal as descargas de efluentes em águas naturais. Já os bicarbonatos e os carbonatos são levados às águas naturais através da passagem por solos ricos em calcário (WEST, 2016).

A importância da alcalinidade vem da considerável influência que a mesma exerce na coagulação química. Isto porque alguns dos principais coagulantes primários normalmente empregados no Brasil, como sulfato de alumínio e cloreto férrico, são doadores de prótons em solução. Desta forma, se a água apresentar alcalinidade baixa, um alcalinizado precisa ser adicionado para ajustar o pH. Porém, se a alcalinidade e o pH forem relativamente altos, provavelmente o sulfato de alumínio não seja indicado, visto que o mesmo não será capaz de acidificar a água suficientemente para a faixa ótima (KONRADT-MORAES, 2009; WEST, 2016).

2.2.3 Dureza

A dureza pode ser considerada uma propriedade conferida à água devido à presença de sais de metais alcalino-terrosos como cálcio e magnésio. Além de reduzir a formação de espuma de sabão e de incrustações nos tubos, altos níveis de dureza também podem causar sabor desagradável e efeitos laxantes (CARVALHO, 2008).

2.3 – CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS DA ÁGUA

O papel da água na propagação de certas doenças infecciosas e parasitárias é um fato bem conhecido. Dessa forma, a determinação de parâmetros microbiológicos é necessário para avaliar a potabilidade da água (KONRADT-MORAES, 2009).

Tendo em vista que os agentes patogênicos de vinculação hídrica exibem como fator comum a sua eliminação pelas fezes dos indivíduos infectados, uma possibilidade mais rápida e econômica para a avaliação da qualidade microbiológica da água é a pesquisa de organismos indicadores de poluição fecal. Tais organismos, se presentes na água, demonstram a ocorrência de poluição de procedência fecal, comprovando o risco da presença de organismos patogênicos (KONRADT-MORAES, 2009).

Os coliformes totais são um grupo de bactérias presentes na água, no solo e nas fezes, e os coliformes fecais fazem parte de um grupo de bactérias com origem no intestino, sendo a *Escherichia coli* um dos principais representantes. Bactérias coliformes são consideradas um indicador de contaminação fecal recente. (CARVALHO, 2008).

Pelo fato de ser possível estarem presentes também microrganismos patogênicos intestinais, como bactérias, vírus, protozoários e ovos helmintos, na perceptiva sanitária, o que de fato coloca em risco a saúde pública nas águas, é a ocorrência de poluição fecal. Contudo, essa afirmação é verdadeira desde que sejam excluídos deste grupo os envenenamentos provocados por substâncias químicas, que geralmente são provenientes de despejos industriais (KONRADT-MORAES, 2009).

3. TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

Escolher o processo de tratamento da água é uma etapa muito complicada, pois a água natural tem características diferentes e é tratada de forma diferente dependendo do destino. A compatibilidade da água bruta à água potável baseia-se na remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e substâncias nocivas à saúde humana, com o menor impacto ambiental e menores custos de operação (ARAÚJO, 2021; WEST, 2016).

Dentre as tecnologias utilizadas no Brasil para água potável, o método conhecido como convencional ou ciclo completo é considerado o método mais completo e adotado no país. Alguns dos fatores que podem ser listados para definir o processo de tratamento são: remoção de poluentes, qualidade dos mananciais, condições locais, flexibilidade do processo, custo e compatibilidade ambiental (ARAÚJO, 2021; WEST, 2016).

O tratamento de água visa melhorar a qualidade do abastecimento de água humana e deve atingir os seguintes objetivos:

- Sanitário – removendo organismos patogênicos como bactérias, vírus e protozoários;
- Estético - remove a cor, o sabor e o cheiro da água dispensada;
- Econômico - reduza a corrosividade da água na estrutura de distribuição (WEST, 2016).

O processo de tratamento do sistema convencional compreende várias etapas, a saber: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e correção de pH. Contudo, neste trabalho, apenas a etapa de coagulação e floculação será inserida, pois nessas etapas o polímero natural de quiabo tem atuação.

3.1 – COAGULAÇÃO

A coagulação é a operação geral inicial do tratamento de água na ETA e é uma condição para a execução eficiente das etapas subsequentes do tratamento. Portanto, a coagulação

deve ser realizada da forma mais adequada para se obter resultados satisfatórios (ARAÚJO, 2021).

A coagulação é um processo químico cuja função é tornar instáveis as partículas coloidais. Ocorre pela adição de reagentes químicos para gerar íons carregados positivamente na água, que contém coloides carregados negativamente e reduz a força repulsiva entre as partículas. Este processo é principalmente para clarificar a água, tornando-a esteticamente adequado para consumo humano (CARVALHO 2008; ARAÚJO, 2021).

De acordo com CARDOSO (2003, p. 34), o processo químico que ocorre na etapa de coagulação pode ser explicado da seguinte forma:

Ao se adicionar um coagulante na água, este se hidrolisa e pode produzir a desestabilização das partículas, por simples adsorção específica dos produtos de hidrólise na dupla camada que rodeia os coloides de carga negativa. Os produtos da hidrólise dos coagulantes sofrem reações de polimerização e se transformam em longas cadeias com extremos ativos. Estas cadeias podem ser facilmente adsorvidas nos sítios vazios, pelos coloides da suspensão. Os extremos destas cadeias podem aderir-se a outros coloides que tenham sítios vazios, ligados por cadeias poliméricas. Ao sedimentar estes coágulos esbarram noutras partículas e com um efeito varredura se incorporam a outros coloides.

Estudos anteriores sobre o processo de coagulação no tratamento de água mostraram que o pH é a variável mais importante. Esses estudos mostram que, para uma determinada água, há pelo menos uma faixa de pH dentro da qual uma boa coagulação / floculação pode ocorrer com uma determinada dose de coagulante em um tempo encurtado. Dependendo do tipo de coagulante usado, da composição química da água e da concentração do coagulante, a ampla faixa de pH é afetada (KONRADT-MORAES, 2009).

No tratamento da água os coagulantes amplamente utilizados são os sais metálicos hidrolisados baseados em alumínio e ferro, utilizados rotineiramente desde o início do séc. XX, constituindo uma das principais formas de remoção da maior parte das impurezas de águas poluídas (WEST, 2016).

Após a inserção de íons carregados positivamente (como ferro e alumínio), a instabilidade da suspensão que permite a coagulação é composta por quatro mecanismos que atuam dentro de uma determinada faixa de pH na solução, definidos como (WEST, 2016):

3.1.1 Compressão da camada difusa

Desde o final do século XIX é sabido que a desestabilização de um sistema coloidal pode ocorrer pela adição de íons de cargas contrárias à das partículas coloidais. Estudos utilizando a teoria desenvolvida por Derjaguin, Landau, Verney e Overbeek – DLVO indicaram que a desestabilização de um coloide por um eletrólito indiferente, se dá em decorrência de interações eletrostáticas: íons de mesma carga são repelidos, ao passo que íons de carga contrária são atraídos pelos colóides. Observou-se também que a quantidade requerida para a coagulação é menor, quanto maior a carga dos íons positivos (KONRADT-MORAES, 2009; CARVALHO, 2008).

De acordo com Konradt-Moraes (2009, p. 12):

A introdução de um eletrólito indiferente num sistema coloidal irá causar um aumento na densidade de cargas na camada difusa e diminuir a esfera de influência das partículas, ocorrendo a coagulação por compressão da camada difusa. Concentrações elevadas de íons positivos e negativos (força iônica grande) na água acarretam um acréscimo do número de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, necessariamente, tem seu volume reduzido (diminuição da espessura), de modo que as forças de van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática. Um exemplo típico desse mecanismo ocorre quando águas doces com força iônica pequena misturam-se às águas do mar, promovendo a formação de depósitos nas desembocaduras.

Segundo Di Bernardo (1993 apud PAVANELLI, 2001), vale o destaque de dois aspectos no mecanismo de coagulação: a quantidade de eletrólitos para se obter a coagulação é independente da concentração de colóides na água e independentemente da quantidade

adicionada de eletrólitos, não é possível causar a reestabilização das partículas coloidais, ou seja, a reversão de carga das mesmas.

3.1.2 Adsorção e Neutralização de Carga

A desestabilização de uma dispersão coloidal baseia-se em interações coagulante-coloide, coagulante-solvente e coloide-solvente, sendo que, no caso de espécies hidrolisadas de Al e Fe ou de polímeros sintéticos catiônicos, é normal acontecer a interação específica entre coagulante-coloide, em que é predominante o fenômeno de adsorção. Neste tipo de desestabilização, os produtos de hidrólise do alumínio ou ferro são adsorvidos nas superfícies das partículas coloidais presentes na água bruta, ocasionando a neutralização dos ânions da superfície dos colóides. Ocorre a formação de micro-flocos na coagulação por adsorção, porém não são agregados rapidamente como flocos visíveis (LIMA, 2007).

Este tipo de mecanismo tem muita relevância quando o tratamento é realizado por meio da filtração direta, visto não haver neste caso, a necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação, mas sim, de partículas desestabilizadas que permanecerão retidas no interior do meio filtrante da unidade de filtração (PAVANELLI, 2001; KONRADT-MORAES, 2009).

Para a otimização do tratamento, a neutralização é o ponto chave que precede a filtração direta em meio granular. Contudo, conforme já mencionado, essa neutralização de carga não fornecerá os macro-flocos essencial na operação de sedimentação ou flotação, sendo necessário a aplicação de um auxiliar de floculação. A figura 1 mostra a coagulação pelo mecanismo de adsorção e neutralização, em que primeiramente o produto da hidrólise do coagulante (Al^{+3}) é adsorvido na superfície das partículas coloidais e em seguida neutraliza a carga dos colóides negativos (LIMA, 2007).

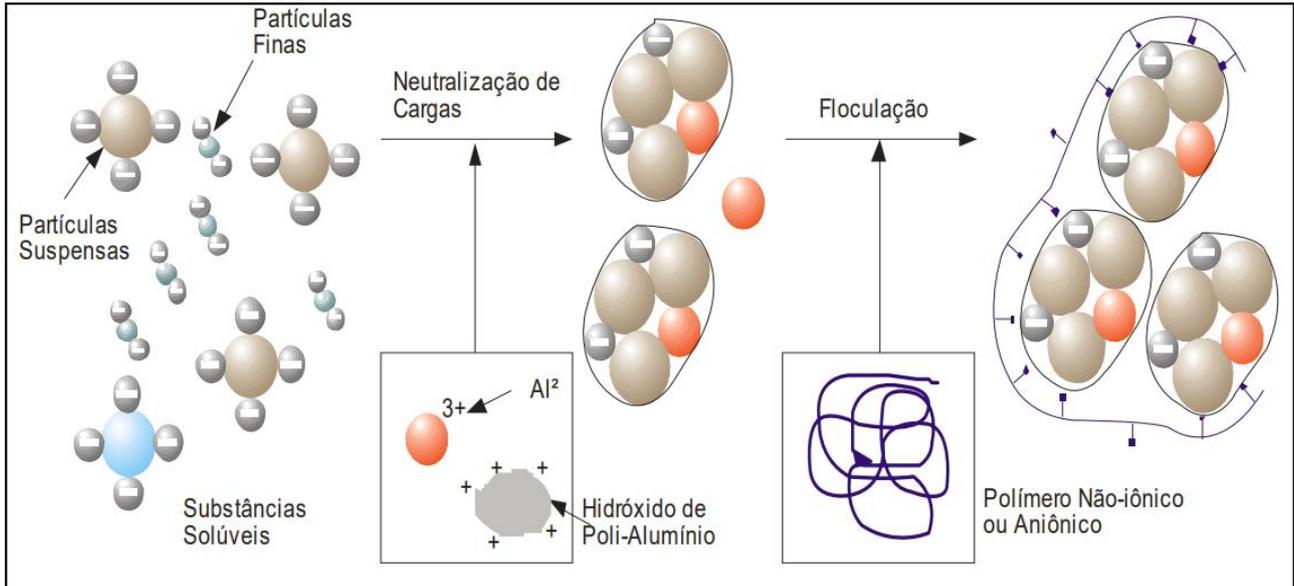


Figura 1 - Coagulação de partículas coloidais por neutralização de cargas (In: LIMA, 2007, p. 40)

3.1.3 Varredura

Nesse mecanismo, dependendo da quantidade de coagulante metálico adicionado, do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons da água pode acontecer a formação de precipitados do tipo $\text{Al}(\text{OH})_3$ e $\text{Fe}(\text{OH})_3$, ou outros dependendo do coagulante empregado. Por apresentar dimensão maior que a do coloide o $\text{Al}(\text{OH})_3$, um precipitado amorfo e insolúvel, ao ser formado arrasta as partículas suspensas na água, conforme descrito na figura 2. Nesse mecanismo os flocos formados são maiores do que aqueles formados no processo de adsorção e neutralização de carga, e por consequência, apresenta velocidade de sedimentação maior. Devido a esses fatores, o mecanismo de varredura é amplamente utilizado em estações de tratamento de água completo, onde a floculação e sedimentação antecede a filtração (LIMA, 2007; PAVANELLI, 2001).

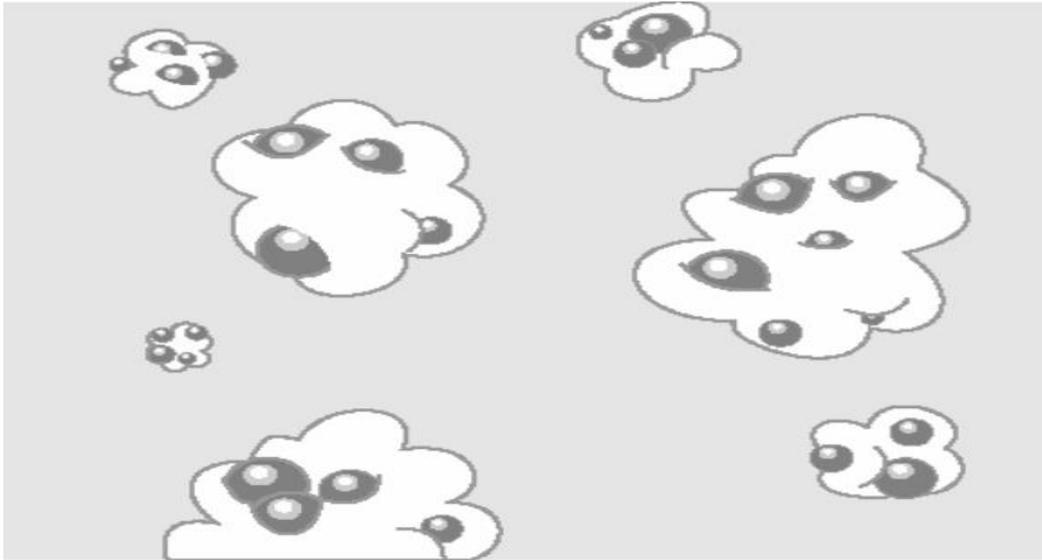


Figura 2 - Coagulação por agregação dos colóides no precipitado formado (In: LIMA, 2007, p. 41)

Neste mecanismo, o arraste e a agregação de colóides requer adição de dosagem relativamente elevada dos coagulantes, geralmente sais de alumínio ou de ferro, os quais precipitam como hidróxidos do metal (Al ou Fe), conforme já mencionado anteriormente (LIMA, 2007).

3.1.4 Adsorção e formação de pontes químicas

Esse mecanismo se desenvolve através da utilização de compostos orgânicos (polímeros) naturais ou sintéticos e também por compostos inorgânicos, como o PACI ou PAC (cloreto de polialumínio), os quais são empregados como coagulantes. Estes polímeros podem apresentar sítios ionizáveis no decorrer de suas cadeia, os quais podem ser classificados em catiônicos, aniônicos e anfóteros (PAVANELLI, 2001).

Os polímeros atuam como coagulantes através de sua adsorção à superfície das partículas coloidais e posterior redução da carga ou pelo entrelaçamento das partículas nas cadeias dos polímeros. A figura 3, ilustra as partículas coloidais sendo envolvidas por sítios disponíveis dos polímeros, os quais adsorvem e neutralizam as partículas, com formação de pontes entre estes colóides (PAVANELLI, 2001; LIMA, 2007).

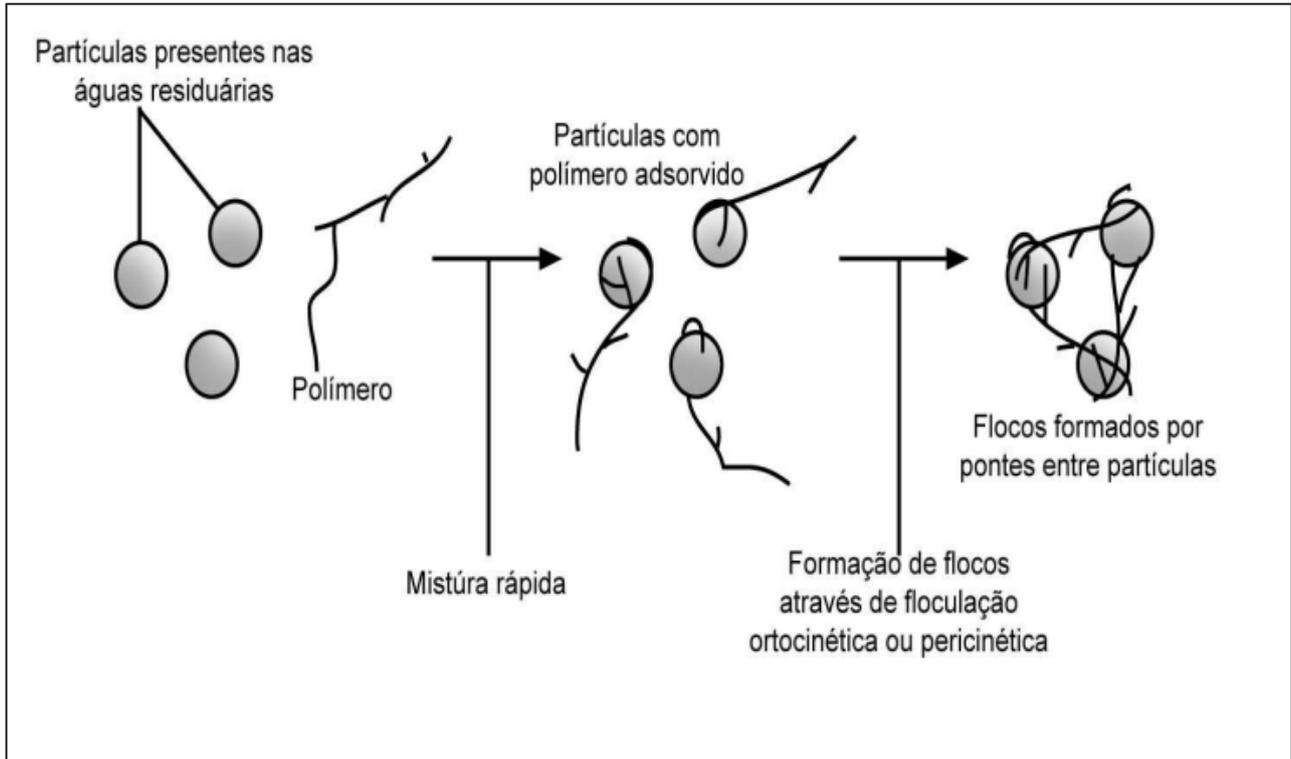


Figura 3 - Coagulação por ligação entre partículas através de polímeros. (In: LIMA, 2007, p. 46)

As pontes entre as partículas coloidais são formadas no momento em que um coagulante faz ligação ou união entre os inúmeros colóides, capturando-os e juntando-os. Geralmente a formação de pontes é utilizada em conjunto com a neutralização de carga, fazendo com que os flocos cresçam rapidamente. Inicialmente adiciona-se sulfato de alumínio para neutralizar ou reduzir a carga pela mistura rápida levando a formação de micro-flocos. Para que o desempenho seja maximizado, adiciona-se uma pequena quantidade de polímero de peso molecular elevado, geralmente aniônico, para que haja formação de ponte entre os flocos. Não é relevante o fato de o polímero que gera as pontes ser aniônico, ou seja, carregado negativamente, visto que os colóides pequenos estão neutralizados, sendo capturados como micro-flocos (LIMA, 2007).

3.2 – FLOCULAÇÃO

Na ETA, a floculação é a etapa subsequente da coagulação. Esta etapa envolve juntar partículas instáveis para formar flocos maiores para precipitação posterior. Portanto, o processo de floculação é muito importante na remoção de substâncias que causam turbidez e cor na água. A floculação é realizada por meio de uma série de fenômenos físicos que visam reduzir o número máximo de partículas em suspensão na água. Portanto, é classificado como uma das operações unitárias do processo de clarificação de água bruta. O objetivo principal da etapa de floculação no tratamento de água é agregar partículas coloidais, fazê-las entrar em contato umas com as outras e aumentar seu tamanho físico (ARAÚJO, 2021).

Dois mecanismos são envolvidos na agregação dos flocos: a micro-floculação e macro-floculação. Na micro-floculação, também conhecida como floculação pericinética, a agregação das partículas se deve ao movimento térmico das moléculas (movimento Browniano). Já na macro-floculação, ou ortocinética, a agregação ocorre mediante a mistura da suspensão induzido pelos gradientes de velocidade (WEST, 2016).

3.3 – COAGULANTES

Nos processos de tratamento de água, são usados vários coagulantes, como coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e ferro) e polímeros orgânicos, sintéticos ou naturais (CARVALHO, 2008).

3.3.1 – Coagulantes Químicos

Na hora de ser definido o tipo de coagulante recomenda-se que a escolha seja baseada em sua eficiência, no custo total dos produtos químicos envolvidos na coagulação e, em alguns casos, na quantidade de lodo produzida. Os sais de alumínio e ferro são os reagentes mais comumente usados no tratamento de água, devido ao seu baixo custo e

comprovada capacidade de coagulação, podendo ser empregado também polímeros (CARVALHO, 2008; KONRADT-MORAES, 2009).

O processo de coagulação/floculação quando executado com sais de alumínio e ferro, ocorrerá através de dois fenômenos. O primeiro é essencialmente um fenômeno químico, incluindo a reação de um coagulante com água para formar uma substância hidrolisada carregada positivamente. Este fenômeno depende da concentração do metal presente, da temperatura, da quantidade de impurezas e do pH final da mistura. A segunda, fundamentalmente física, envolve o transporte dessas substâncias hidrolisadas para entrar em contato com as impurezas presentes na água (SIQUEIRA, 2009).

Já a adição de um polieletrólito de sinal oposto ao da partícula dispersa causa floculação, devido a neutralização de cargas em decorrência da adsorção do polímero na superfície da partícula por meio de ligação eletrostática e, conseqüentemente, neutralização de carga na partícula, que resulta no abaixamento da repulsão, ocasionando a floculação da dispersão. A floculação por um polieletrólito de mesmo sinal que as partículas pode ser causada por ligação. A ligação desses polímeros à superfície da partícula pode ser feita por uma diversidade de mecanismos, dentre eles interações eletrostáticas, interações hidrofóbicas, interações de van der Waals, dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio (KONRADT-MORAES, 2009, LIMA, 2007).

A ingestão de sulfato de alumínio pode causar úlceras da mucosa e necrose da garganta e do esôfago. Vários estudos biológicos e epidemiológicos também obtiveram evidências de que o uso de grandes quantidades de alumínio no tratamento de água pode causar a doença de Alzheimer. Devido a esses fatos, alguns países como Japão, China, Índia e Estados Unidos, devido às grandes vantagens que os polímeros naturais apresentam em relação aos agentes coagulantes/floculantes químicos, têm utilizado esses polímeros no tratamento de águas superficiais para a obtenção de água potável (KONRADT-MORAES, 2009).

3.3.2 – Coagulantes Naturais

Uma variedade de trabalhos foram desenvolvidos nos últimos anos visando o emprego de coagulantes poliméricos alternativos aos coagulantes químicos, para a obtenção de água potável. O foco inicial destes trabalhos estavam em substituir ou auxiliar os coagulantes convencionais com a intenção de melhorar a etapa de coagulação/floculação, não só pela qualidade dos flocos produzidos, mas também pela ausência de metais no lodo gerado. Observou-se mais tarde um certo receio com a saúde da população, particularmente em relação ao mal de Alzheimer, que segundo estudos realizados, pode ser intensificado pelo alumínio (KONRADT-MORAES, 2009).

Como auxiliares de coagulação/floculação, os polímeros apresentam vantagens nas estações de tratamento (ETA), tais como: melhora da qualidade da água de decantação e filtração, redução do consumo de coagulantes primários, redução dos gastos com produtos químicos, diminuição do volume de lodo no decantador, aumento da eficiência da desinfecção: à medida que a concentração de sólidos em suspensão na água filtrada é reduzida, a ocorrência de depósitos de lodos na rede e nos reservatórios de distribuição é reduzida. (CARVALHO, 2008).

Os coagulantes orgânicos naturais, conhecidos como polieletrólitos, são compostos formados por grandes cadeias moleculares com grande número de cargas. Quando essas cargas são positivas, o polieletrólito é chamado de catiônico, quando é negativo é chamado de aniônico, ou pode ser não iônico (SIQUEIRA, 2009; CARVALHO, 2008).

Os coagulantes naturais operam em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo esse método responsável pela formação de flocos. São constituídos principalmente por polissacarídeos ou proteínas, com funcionalidade semelhantes aos coagulantes químicos, contudo com a vantagem de serem biodegradáveis e não exibirem toxicidade, além de formarem, como já mencionado, lodos em quantidades bem menores do que a dos coagulantes químicos, bem como com menores teores de metais (LIMA; ALMEIDA; VICNETINI, 2020).

Estudos indicam que os coagulantes naturais mais comumente utilizados são o tanino (Tanfloc SG), a Moringa oleífera e a quitosana, além de estudos quanto à funcionalidade do *Abelmoschus esculentus*, popularmente conhecido como quiabo. Esses estudos apontam também que é possível incluir também sementes de nirmali (LIMA; ALMEIDA; VICNETINI, 2020; SIQUEIRA, 2009).

4. O LODO GERADO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Muitos estudos têm sido conduzidos sobre o uso de coagulantes poliméricos alternativos como substitutos dos coagulantes químicos para a produção de água potável. Esses trabalhos envolveram inicialmente substituir ou auxiliar coagulantes tradicionais visando a melhora, especificamente na etapa de coagulação/floculação, tanto pela ausência de metais no lodo produzido quanto pela qualidade dos flocos produzidos (CARVALHO 2008).

Na coagulação/floculação, o processo utilizado afetará diretamente a qualidade do lodo produzido pela estação de tratamento de água – ETA. De modo geral, o lodo é composto de água e sólidos suspensos, oriundos da fonte de água e de produtos que são decorrentes dos reagentes utilizados durante todo o processo de tratamento de água. Portanto, as características do lodo vão variar de acordo com a natureza dessa água bruta, dos processos unitários empregados e do tipo de coagulante utilizado, essencialmente hidróxido de alumínio ou hidróxido de ferro. Outra fonte importante de lodo é o carbonato precipitado durante o processo de abrandamento nas estações, com a finalidade de remover a dureza. As principais fontes de geração de resíduos, no tratamento convencional, são as unidades de decantação e filtração (CARVALHO 2008; WEST, 2016).

O lodo gerado em uma ETA tem características específicas e que diferem de qualquer outra ETA. De acordo com o clima daquele ano, conforme o índice de chuvas, ocorrerá diferenças nos lodos, que irão variar de um ano para o outro (SIQUEIRA, 2009).

Geralmente a porcentagem de lodo removida varia entre 0,2 a 5% do volume tratado pela estação e depende de vários fatores como sua origem, se de decantadores ou flotadores, de filtros rápidos ou convencionais, de unidades de filtração direta, bem como da técnica ou da metodologia que é utilizada para a remoção do lodo (CARVALHO 2008).

4.1 LODOS PROVENIENTES DE COAGULAÇÃO

No processo e coagulação da água, com o objetivo de remoção de cor e turbidez, utilizando sais de alumínio e ferro, os flocos resultantes são retirados nas unidades de decantação (ou de flotação) e nos filtros. De acordo com as propriedades físicas e químicas da água bruta, da eficiência hidráulica do equipamento de processo e do tipo de coagulante utilizado, 60% a 95% do lodo se acumula no tanque de decantação (ou flotação), e o restante se acumula no filtro (RITCHER, 2001; CARVALHO 2008).

4.1.1 Lodos de Sulfato de Alumínio

O lodo de sulfato de alumínio é um líquido não-newtoniano, gelatinoso, do qual a fração de sólidos é composta de hidróxido de alumínio, partículas inorgânicas, colóides de cor e outros resíduos orgânicos, incluindo bactérias e outros organismos retirados no método de coagulação (RITCHER, 2001; CARVALHO 2008).

Com relação à quantidade e composição dos sólidos no lodo provenientes da coagulação, há pouca informação. A tabela 1, ilustra valores típicos de análise de lodo de sulfato de alumínio (RITCHER, 2001; CARVALHO 2008).

Sólidos Totais (%)	Al ₂ O ₃ , 5H ₂ O (%)	Compostos Inorgânicos (%)	Matéria Orgânica	pH	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)
0,1 - 4	15 - 40	35 - 70	15 - 25	6-8	30 - 300	30-5000

Tabela 1: Características típicas do lodo de sulfato de alumínio. (In: Ritcher, 2001, p. 4).

Embora os lodos de sulfato de alumínio se sedimentarem com certa facilidade, sua baixa compactidade gera um grande volume e baixo teor de sólidos. Observa-se que os lodos decorrentes de um tratamento de água bruta que apresenta alta turbidez, são mais fáceis de compactar por sedimentação (adensamento), do que os lodos resultantes de água de baixa turbidez (CARVALHO, 2008).

4.1.2 Lodos de Coagulantes Férricos

De maneira geral, os lodos resultantes da coagulação com sais de ferro exibem as características apresentadas na tabela 2.

Sólidos Totais (%)	Fe (%)	Voláteis (%)	pH
0,25 - 3,5	4,6 - 20,6	5,1 - 14,1	7,4 - 9,5

Tabela 2: Características típicas do lodo de sais de ferro. (In: Ritcher, 2001, p.6).

4.2 LODOS PROVENIENTES DE ABRANDAMENTO POR CAL

O teor total de sólidos no lodo formado durante o processo de abrandamento da cal varia de 2% a 25%. É composto principalmente de carbonato de cálcio precipitado e quase não contém matéria orgânica, apresentando DBO e DQO próxima ou igual a zero. A tabela 3 seguir mostra sua composição típica (RITCHER, 2001; CARVALHO 2008).

Sólidos Totais (%)	CaCO₃ (%)	Sílica SiO₂ (%)	Carbono Total	Alumínio Al₂O₃ (%)	Magnésio MgO (%)
2 - 25	75	6	7	3	2

Tabela 3: Características típicas do lodo de cal. (In: Ritcher, 2001, p. 7).

5. O QUIABO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

5.1 – QUIABO

O quiabo (*Albemoschus esculentus*) (Figura 4), pertence à família Malvaceae, tratando-se de uma planta arbustiva anual com caules verticais esverdeado ou avermelhado, de 1 a 1,7 metros de altura. É uma hortaliça de clima quente, por isso é uma das variedades mais adequadas para o clima tropical do Brasil, contendo importantes componentes bioativos como caroteno, ácido fólico, tiamina, riboflavina, vitamina C e aminoácidos. A baixa temperatura danifica a fruta e impede o seu crescimento. A parte utilizada para cozinhar é o seu fruto, uma cápsula cheia de sementes brancas e redondas, que é pegajosa. Os frutos ainda contêm muco espesso e viscoso, que pode ser extraído na forma de cola viscosa. Há mucilagem nas raízes e frutas, que podem ser consumidas como legumes quando imaturos. A fruta madura contém cerca de 50 a 90 sementes, com óleo que pode ser utilizado após refino (LIMA, 2007; WEST 2016).



Figura 4: Quiabeiro (in Pereira, 2019, p.14)

O quiabo, utilizado tanto na forma da mucilagem extraída da vagem (baba de quiabo) como na forma de solução feita a partir do pó seco da vagem pulverizada, apresenta propriedades flocculantes. Diversos estudos realizados com esse polímero natural aniônico evidenciaram que ambas as formas conduziram a resultados favoráveis (WEST, 2016; LIMA, 2007)

A composição da mucilagem (obtido das sementes de quiabo) é a de um polissacarídeo aniônico, o qual é utilizado como flocculante por ser um polímero natural e potencialmente biodegradável. Não é tóxico e estável, sendo frequentemente usado em grandes quantidades para tratar o abastecimento de água, esgoto doméstico e efluentes de curtume (RITTER, 2013).

O quiabo em pó é considerado um polímero aniônico, sendo que sua cadeia longa facilita o ganho de peso e agregação dos flocos, melhorando o processo de sedimentação (WEST, 2016).

Como auxiliar de floculação, o quiabo tem bom desempenho e mais possibilidades de uso, pois, pela forma como esse vegetal é comercializado, o consumidor se recusa a usar frutas maduras, que podem ser utilizadas para tratamento de água. Após a moagem, o pó é transformado em solução e misturado com coagulantes de alumínio e ferro para melhorar a eficiência da floculação e etapas subsequentes, como precipitação ou flotação, filtração e desinfecção (RITTER, 2013; LIMA 2007).

5.2 – ESTUDOS UTILIZANDO O QUIABO COMO AUXILIAR DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Lima (2007) testou o quiabo como auxiliar de floculação e filtração, tanto na forma de mucilagem extraída a frio quanto na forma de solução do pó, obtido após secagem. Os estudos com o quiabo em conjunto com o coagulante foram realizados em laboratório, com águas de qualidade e locais distintos, com dosagem tanto na floculação, quanto na filtração. Os testes mostram melhoria da qualidade da água sedimentada ou filtrada, quando se utilizou o quiabo em conjunto com o coagulante em comparação à dosagem somente do coagulante. O autor conclui ainda que a dosagem do sulfato de alumínio, quando usado em conjunto com o polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação, poderá ser reduzida, com igual eficiência.

Silva (2012) avaliou a eficiência do uso das espécies naturais do quiabo (*Abelmoschus eschulentus*), da semente de angico vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L) Speng) e da semente olho-de-dragão (*Adenanthera pavonina* L.), pulverizados com granulometria de 0,074 mm como auxiliar de floculação para remoção principalmente dos parâmetros cor e turbidez, no tratamento de água para fins industriais. Neste estudo utilizou-se como coagulante químico o sulfato de alumínio. Nos testes o pó dos polímeros foram utilizados só ou em combinação com o coagulante químico. Os resultados mostraram que quem apresentou maior eficiência na remoção da turbidez e cor foi o polímero de quiabo em relação às mesmas dosagens usadas com os demais polímeros estudados. Observou-se ainda que quando foi efetuada a redução do coagulante utilizado em combinação com os polímeros naturais, verificou-se uma ótima remoção da turbidez, especialmente com o conjunto coagulante e polímero de quiabo, mostrando uma eficiência de remoção de 94% de turbidez e de 98% da cor, com dosagem ótima do quiabo igual a 1,0 mg/L e do coagulante de 10 mg/L. Assim, quando o polímero de quiabo for utilizado como auxiliar de floculação a dosagem do sulfato de alumínio poderá ser reduzida em 2 vezes (de 20 mg/L para 10 mg/L), com uma ótima eficiência da remoção dos parâmetros da cor e turbidez.

Morais et al. (2012) analisaram a utilização de diversos polímeros naturais como auxiliares de floculação para tratamento de água com turbidez elevada empregando o sulfato de alumínio como coagulante. Utilizando a dosagem ótima de 21 mg/L de sulfato de alumínio observou-se a remoção de 92% da turbidez da amostra. Com o quiabo em pó com dosagem de 3 mg/L e 18 mg/L de sulfato de alumínio houve uma remoção de turbidez em torno de 96%, levando à concluir que o quiabo pode ser utilizado para redução da quantidade de sulfato de alumínio no tratamento de água para abastecimento.

Ritter (2013) avaliou o emprego do polímero natural extraído de frutos maduros de *Abelmoschus eschulentus* (L.) Moench (quiabo), como auxiliar de floculação. O autor relata que foram obtidos bons resultados de remoção de cor e turbidez, atingindo-se 96,6% e 98,9% de remoção, respectivamente, utilizando a concentração de 1,2 ppm de quiabo e 45 minutos de sedimentação. Observou-se que outros parâmetros, como sólidos e bacteriológicos, também foram consideravelmente reduzidos, sendo este um aspecto positivo, visto que pode facilitar as etapas seguintes do tratamento, aumentando a vida útil dos filtros e necessitando de quantidade menor de desinfetante. O autor salienta ainda que, com o uso do quiabo como auxiliar de floculação, foi possível reduzir a dosagem do coagulante metálico, o que apresenta-se como um aspecto positivo, tendo em vista que

essa diminuição reduz a ingestão de produtos químicos pelas pessoas e possibilita maior facilidade na disposição final do lodo proveniente da ETA, reforçando assim, a proposta da Química verde.

Pereira et al. (2019) analisaram o emprego de mucilagem do quiabo como agente floculante no tratamento de água do Rio Amazonas, objetivando um processo de floculação mais benéfico ao meio ambiente e mais viável do que a utilização de polímeros sintéticos. Os estudos realizados comprovaram a eficácia do quiabo como agente floculante no tratamento da água do rio Amazonas, obtendo-se até 92% de remoção da turbidez. Neste estudo o quiabo atuou como auxiliar de floculação do coagulante $Al_2(SO_4)_3$.

Quesada et al. (2019) verificaram a influência da concentração e do tempo de sedimentação no uso do quiabo como auxiliar de floculação em conjunto com o coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC). Com a finalidade de avaliar a influência do quiabo para o tratamento, foram realizados testes apenas com PAC, variando a sua concentração (0-10 ppm) e com a combinação de coagulante (2 ppm) e quiabo, variando de 0,5 a 3 ppm. Verificou-se que a concentração ótima de PAC foi de 6 ppm, a qual removeu 89,82% da cor e 94,24% da turbidez. Já no ensaio do conjunto PAC/quiabo observou-se que a concentração ótima de quiabo foi de 0,5 ppm, na qual verificou-se a remoção de 82,51% de cor e de 87,82% de turbidez. Não foi constatado a necessidade de tempos de sedimentação maiores que cinco minutos. Apesar dos resultados com a adição de quiabo não superarem os resultados com o tratamento efetuado com 6 ppm (concentração ótima de PAC), verificou-se melhora no tratamento de água para abastecimento. Comparando com o ensaio em que utilizou-se 2 ppm de PAC sem a adição do auxiliar, a adição de quiabo possibilitou maior redução de cor e turbidez. Em termos de remoção, a cor apresentou melhora de 76,70 para 82,51% e a turbidez, de 81,76 para 87,82%.

6. CORANTES NATURAIS COMO ESTRATÉGIA PARA O ENSINO DE INDICADORES

Pesquisas têm mostrado que o ensino de Química geralmente vem sendo estruturado em torno de atividades que levam à memorização de informações, fórmulas e conhecimentos que colaboram na desmotivação em estudar Química. As pesquisas mostram ainda que os alunos do ensino médio, geralmente apresentam resultados insatisfatórios de aprendizagens constatadas em avaliações realizadas em sala de aula. (SANTOS, 2012).

A disciplina química é vista como desinteressante pelo aluno. A motivação para estudar e aprender química, pode ser alcançada com outras formas para ministrar aula, por exemplo, a formação de um material didático que seja diferente do padrão e utilizando materiais da rotina do dia a dia dos alunos, permitindo a integração entre o conhecimento do aluno, e o método apresentado pelo professor, que juntos poderão obter um resultado diferente. (SANTOS, 2012).

Neste contexto, compostos fenólicos presentes no quiabo e em outros produtos naturais, podem ser empregados para fazer um elo entre o conteúdo que se deseja abordar em sala de aula e o cotidiano do aluno. O emprego de pigmentos naturais, como por exemplo, as antocianinas, como estratégia para o ensino de equilíbrio ácido-base e identificação de acidez ou basicidade de diversos materiais, tem sido amplamente utilizado (SILVA; BRITO; GONÇALVES, 2018). As antocianinas, pigmentos responsáveis pela coloração de vários tecidos vegetais, são compostos fenólicos pertencentes à classe dos flavonóides. Elas são sensíveis a alterações de pH, o que as credenciam como indicadores ácido-base naturais. Assim, compostos que contêm antocianinas, como flores de quaresmeira e unha de vaca e grão de feijão preto, podem ser utilizados como indicadores em experimentos de laboratório para que o processo de aprendizagem do conteúdo indicador e acidez e basicidade dos compostos possa ser mais significativo (PEREIRA, 2019; SILVA; BRITO; GONÇALVES, 2018).

Através do experimento selecionado pode-se inicialmente introduzir o conceito formal de ácido e base, segundo o conceito de Arrhenius e o conceito de Bronsted-Lowry, bem como apresentar as principais características e propriedades de cada função inorgânica. Depois é possível discutir a utilidade desses materiais no dia a dia, e a importância do conhecimento dos conceitos acima citados para que o cidadão possa ter ciência do tipo de material com o qual ele tem contato diário e quais suas propriedades. Pode-se também

explorar as estruturas desses indicadores naturais, as mudanças que ocorrem com as mesmas com a mudanças de pH e diferenciar os indicadores naturais dos indicadores convencionais, abordando as vantagens da utilização de corantes naturais como indicadores (SOARES; SILVA; CAVALHEIRO, 2001).

O experimento selecionado para ser trabalhado em sala de aula foi o de Soares, Silva e Cavalheiro (2001), o qual está descrito abaixo

6.1 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1.2 MATERIAIS

- Flores de quaresmeira e unha de vaca;
- Grãos de feijão preto;
- Fenolftaleína;
- Suco de laranja e limão;
- Vinagre de vinho branco e de álcool;
- Álcool comum;
- Alvejante para tecidos (solução de hipoclorito) e detergente;
- Água mineral e água de torneira;
- Sabão;
- Copos e colheres;
- Vasilhames comuns (garrafas de água mineral), com volumes de aproximadamente 100 e 500 mL.

6.1.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os vários materiais citados acima, serão testados em sua acidez e basicidade por uma comparação com uma escala de cores dos indicadores naturais e de um indicador

convencional. Posteriormente os resultados obtidos serão comparados e discutidos entre os alunos e o professor.

Os indicadores serão extraídos por imersão das pétalas de quaresmeira e unha de vaca em álcool, durante 35-40 minutos. No caso do feijão preto, faz-se necessário um pequeno aquecimento de cerca de 50 g em 50 mL de água. As fases líquidas obtidas, em ambos os casos, serão utilizadas como indicadores. Os testes serão feitos adicionando os indicadores obtidos nas soluções propostas, observando as cores obtidas em cada uma das soluções e a seguir, realiza-se os mesmos testes com um indicador convencional, classificando-as em ácidas ou básicas. Depois de feito os testes, será realizada uma comparação entre o desempenho do indicador convencional em relação aos indicadores naturais, ressaltando a semelhança dos resultados obtidos.

Ao final será feita uma discussão dos resultados com os alunos, comparando as cores obtidas com a classificação proposta por eles, com base nas escalas de cores para os indicadores naturais.

Quando as mudanças de cores não forem observadas para as amostras coloridas, as mesmas deverão ser diluídas.

7. CONCLUSÃO

Os dados levantados em revisão de literatura mostram a eficiência do quiabo (*Abelmoschus eschulentus*) como auxiliar de floculação no tratamento de água e como fonte de redução do uso de coagulantes químicos. Essa redução de coagulantes químicos pode minimizar, por exemplo, o risco de contaminação da água por alumínio residual, o qual está associado a doenças neurodegenerativas como Parkinson e Doença de Alzheimer, em decorrência da exposição humana a este metal.

Além disso, o emprego de polímeros naturais, como o quiabo, leva a formação de lodos em quantidades reduzidas se comparadas com as dos coagulantes químicos, e com menores teores de metais. Tais lodos são ainda menos volumosos e facilmente biodegradáveis, contribuindo assim com a preservação ambiental.

8. REFERÊNCIAS

ARAUJO, Antônia Leyanne Gomes de. **Otimização do processo de tratamento de água de abastecimento do município de Crateús-CE.** 2021, 78p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal do Ceará Campus de Crateús, graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Crateús- CE, 2021.

BEZERRA, B.L.; SILVA, E.P; SILVA, T. N. B; REIS, H.G.G; FERREIRA, B.A; RIBEIRO, M.A.S & CORINGA, J. E. S. **Avaliação por teste jarros no rio Cuiabá, utilizando extrato de quiabo como auxiliar de floculação.** XXIII Simpósio brasileiro de Recursos hídricos, Instituto Federal do Mato Grosso – Campus Bela Vista, 2019.

BONGIOVANI, Milene Carvalho; KONRADT-MORAES, Leila Cristina; BERGAMASCO, Rosângela; LOURENÇO, Beatriz Sayuri Sakaniva; TAVARES, Célia Regina Granhen. Os benefícios do uso de coagulantes naturais para obter água potável. **Acta Scientiarum Technology**, v.32, nº. 2, abril/junho, 2010. p. 1-4.

BRASIL, Lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2007.

BRASIL. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CARDOSO, Marcio. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água.** 2003, 110p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa

Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental. Florianópolis, 2003.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. 177p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2008.

KONRADT-MORAES, Leila Cristina. **Estudo dos processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para a obtenção de água potável**. 2009, 205 p. Tese (Doutorado) - Universidade estadual de Maringá centro de tecnologia departamento de engenharia química programa de pós-graduação em engenharia química. Maringá-PR, 2009.

LIMA, Paulo Renato; DE ALMEIDA, Igor Vivian; VICENTINI, Veronica Elisa Pimenta. Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: uma revisão. **Evidência**, v20, n1, janeiro/junho, 2020, p. 1-14.

LIMA, Guilherme Júlio de Abreu. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. 2007, 154 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro – RJ, 2007.

Morais, D.D; Coringa, J.E.S; Coringa, E.A.O.C. **Eficiência da remoção de turbidez de águas superficiais com o uso de polieletrólitos naturais como auxiliares de floculação**. 52º Congresso Brasileiro de Química. Recife-PE. 2012. 4p.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001, 233 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento. São Carlos – SP, 2001.

QUESADA, Heloise Beatriz; VERNASQUI, Laís Gimenes; SOUZA, Renata Mariane de; TEIXEIRA, Guilherme Gobbi; MEDEIROS, Flávia Vieira da Silva; Influência da concentração e do tempo de sedimentação no uso de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench (quiabo) como auxiliar de floculação. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.16 n^o. 29, 2019, p. 2373-2382.

PEREIRA, André Lopes. **Determinação de fenólicos totais na farinha do quiabo**. 2019, 43p. Trabalho de conclusão de curso (Química Industrial) – Fundação Educacional do Município de Assis – FEMA, graduação em Química Industrial, Assis – SP, 2019.

PEREIRA, T.I.O; MEIRA, L.D.A.S; SOUSA, M.E.A. **Uso da mucilagem do quiabo como agente floculante no tratamento da água do rio Amazonas**. XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, Belo Horizonte - MG, 2019.

RITTER, Cíntia Maria. **Estudo da utilização de polímeros naturais *Abelmoschus esculentus* (L.) moench (malvaceae) e moringa oleifera lam (moringaceae) no tratamento de água de abastecimento**. 2013, 53 p. Trabalho de conclusão de curso – (Engenharia Ambiental da Coordenação de Engenharia Ambiental – COEAM –) Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Ponta Grossa, Campo Mourão, 2013.

SANTOS A. O.; SILVA, R. P; ANDRADE, D; LIMA, J. P. M. **Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do ensino médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química)**. Departamento de Química/Laboratório de Ensino de Química/Universidade Federal de Sergipe, vol. 9, num. 7, Sergipe, São Cristóvão, 2013.

SCALIZE, P. S; NETO, A, F; RIOS, F. P; ALBUQUERQUE, A. **Estudo da influência da temperatura da água bruta na eficiência do coagulante químico**. Revista Sodebras, v7, n80, agosto, 2012, p 1-6.

SILVA, Annielly F. S; BRITO, Laís M; GONÇALVES, Joyce L. da S. **Extratos vegetais: uma Alternativa à Fenolftaleína no Ensino de Química Analítica**. Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) v. 12 n. 23: Revista Processos Químicos, Mato Grosso, 2018.

SILVA, Juliane da silva e. **Estudo da utilização de polímeros naturais como auxiliares de floculação no tratamento de água para fins industriais**. 2012. 114p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará – UFPA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2012.

SIQUEIRA, M. E. T. **Estudo da utilização de coagulantes naturais e químicos em uma estação de tratamento de água piloto (eta-piloto)**. 2009. 104p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Química, Universidade estadual de Maringá – UEM, Maringá-PR, 2009.

SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa; SILVA, Marcus Vinicius Boldrin; CAVALHEIRO, Éder Tadeu Gomes. **Aplicação de corantes naturais no ensino médio**. Eclet. Quím. v.26, São Paulo, 2001.

RITCHER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água**, São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 2001.

WEST, Luís Gustavo Macedo. **Uso do quiabo (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) no processo de tratamento de água para abastecimento humano: ensaios preliminares**. 2016, 57 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) - Centro de

Ciências Exatas e Tecnológicas, graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Cruz das Almas-BA, 2016.