



CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LUÍS GUSTAVO MACEDO WEST

**USO DO QUIABO (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) NO PROCESSO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO: ENSAIOS
PRELIMINARES.**

**Cruz das Almas-BA
Fev/2016**



CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LUÍS GUSTAVO MACEDO WEST

**USO DO QUIABO (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) NO PROCESSO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO: ENSAIOS
PRELIMINARES.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia,
como parte dos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Selma Cristina da Silva

**Cruz das Almas-BA
Fev/2016**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**USO DO QUIABO (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) NO PROCESSO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO HUMANO: ENSAIOS
PRELIMINARES.**

APROVADA EM: ____/____/____

EXAMINADORES:

1. Profa. Dr^a Selma Cristina da Silva _____
2. Profa. MsC. Anaxsandra da Costa Lima Duarte _____
3. Prof. Dr. Francisco de Souza Fadigas _____

LUÍS GUSTAVO MACEDO WEST

**Cruz das Almas-BA
Fev/2016**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por acompanhar meus passos e mostrar os caminhos corretos a percorrer.

À meus avós Landualdo e Valdeh, sempre presentes me oferecendo carinho e amor durante toda essa caminhada.

Aos tios Zé e Tita, avós de coração, que sempre estiverem comigo nos momentos difíceis. Meus pais Robson e Márcia, que sempre foram pacientes e compreensíveis, me dando todo o apoio necessário para a realização de todos os meus sonhos.

Meus irmãos Lu e Aninha, que juntamente com meus pais me ensinaram as coisas ruins da vida e me mostraram o lado bom dela.

À minha namorada Vívian, que sempre ao meu lado conseguia me fazer sorrir nos momentos mais escuros e tristes por mim vividos.

Aos amigos que deixei em Feira de Santana, que souberam respeitar minha ausência da cidade durante todos esses anos e não perderam o contato.

À UFRB, por me dar a oportunidade de conhecer pessoas, colegas e transformá-los em amigos, que serão pra sempre levados comigo por onde eu andar.

Aos professores que foram capazes de me ensinar, através de métodos de ensino diferentes as leis da área que pretendo seguir, e mais além, ensinaram valores que nunca mais esquecerei.

À minha orientadora, Selma da Silva, que me abraçou no momento mais difícil e auxiliou na bastante na confecção do trabalho.

RESUMO

Os sistemas convencionais de tratamento de água para abastecimento humano, em todo o mundo, utilizam produtos químicos para a realização das etapas de coagulação e floculação, necessárias para garantir os padrões de potabilidade indicados para o consumo seguro da água. Têm-se observado que a segurança por conta da ausência de microrganismos patogênicos ou partículas naturais que causem doenças é garantida, mas a inserção de sais metálicos como o sulfato de alumínio na água gera o alumínio residual que pode causar problemas neurológicos. Na tentativa de reduzir a quantidade desses sais metálicos, surge como alternativa os coagulantes/floculantes naturais, que podem também funcionar como auxiliares na obtenção de água apropriada para consumo humano. O quiabo é uma dessas alternativas, apresentando cadeias longas de polissacarídeos que podem remover impurezas da água assim como proporcionar peso e tamanho às partículas, auxiliando os processos de clarificação. O presente estudo tem como objetivo testar a aplicabilidade de soluções produzidas com o quiabo em pó e com a mucilagem do quiabo como auxiliares no processo de coagulação/floculação para garantir água com qualidade e analisar também sua influência na formação do lodo. A água testada é do manancial do Rio da Dona, e é utilizada pela EMBASA para abastecimento das cidades de Santo Antônio de Jesus, Varzedo e proximidades. Utilizando ensaios de *Jar Test* para analisar os parâmetros cor, turbidez, alcalinidade, pH e temperatura da água após a decantação os resultados encontrados indicam que a dosagem ótima do sulfato de alumínio para os ensaios encontrada foi de 70 mg/L, para o quiabo em pó como auxiliar de coagulação 70 mg/L, a mucilagem do quiabo como auxiliar de coagulação apresentou dosagem ótima de 60 mg/L e como auxiliar de floculação 10 mg/L. A adição de dosagens elevadas reduz a formação do lodo quando utiliza-se a mucilagem do quiabo como auxiliar de floculação.

Palavras – chave: coagulação, floculação, auxiliares naturais.

LISTA DE SIGLAS

BA – Bahia

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

EMBASA – Empresa Baiana de Águas e Saneamento

ETA – Estação de Tratamento de Água

EUA – Estados Unidos da América

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IQA – Índice de Qualidade da água

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MS – Ministério da Saúde

N – Normal

NBR – Norma Brasileira

OMS – Organização Mundial da Saúde

PAC – Policloreto de alumínio

pH – Potencial Hidrogeniônico

PPM – Partes Por Milhão

RPGA – Região de Planejamento e Gestão das Águas

RPM – Rotações por minuto

SAJ – Santo Antônio de Jesus

THM – Trihalometanos

UC – Unidade de Cor

UFRB – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

UV – Ultravioleta

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Resultados encontrados para a mucilagem do quiabo.	30
Figura 3.2: Resultados encontrados para o quiabo em pó.....	30
Figura 3.3: Croqui das etapas de tratamento da água na ETA de Santo Antônio de Jesus.....	31
Figura 3.5: Floculadores de fluxo vertical da ETA de SAJ	33
Figura 3.4: Calha Parshall da ETA de Santo Antônio de Jesus	33
Figura 3.6: Unidade de decantação da ETA de SAJ	33
Figura 3.7: Filtro rápido desativado para lavagem na ETA de SAJ.....	33
Figura 3.8: Reservatório de água tratada onde se realiza a desinfecção da água	34
Figura 3.9: Lagoa de equalização da ETA – SAJ	35
Figura 3.10: Lagoa de decantação da ETA – SAJ.....	35
Figura 3.11: Leito de secagem da ETA -SAJ.....	35
Figura 4.1: Ponto de coleta da água bruta	36
Figura 4.2: Equipamento de <i>Jar Test</i> sendo utilizado para definição da dosagem ótima de coagulante.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Média dos parâmetros da água bruta nos ensaios do laboratório da UFRB em jan/2016.....	42
Tabela 5.2: dados da água bruta analisada na ETA – SAJ no ano de 2014.	43
Tabela 5.3: Dados da água bruta analisada na ETA – SAJ no ano de 2016.....	43
Tabela 5.4: Resultados do ensaio de <i>Jar Test</i> realizado com sulfato de alumínio (Ensaio 1).....	45
Tabela 5.5: Resultados para água tratada dos ensaios de <i>Jar Test</i> realizados pelos operadores da ETA-SAJ no ano de 2014.	46
Tabela 5.6: Características da água bruta utilizada e dosagem do coagulante químico encontrado por Lima (2007) para realização dos testes com os auxiliares	47
Tabela 5.7: Resultados do ensaio utilizando a dosagem do sulfato de alumínio (70mg/L) com diferentes dosagens da solução do quiabo em pó.....	48
Tabela 5.8: Resultados do ensaio de <i>Jar Test</i> utilizando sulfato de alumínio e simultaneamente a baba do quiabo como auxiliar da coagulação	50
Tabela 5.9: Resultados obtidos com coagulante e mucilagem do quiabo como auxiliar de floculação. Ensaio 4.....	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.2: Informações climáticas, datas e horários das coletas.	37
--	----

SUMÁRIO:

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	OBJETIVOS	10
2.1.	Geral	10
2.2.	Objetivo específico	10
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1.	Propriedades da água	11
3.2.	Características físico-químicas da água	11
3.3.	Lodo gerado nas estações de tratamento de água	19
3.4.	Tratamento de água para abastecimento	20
3.4.1.	Coagulação	21
3.4.2.	Floculação	23
3.4.3.	Decantação	24
3.5.	Produtos químicos utilizados na coagulação	25
3.5.1.	Sulfato de alumínio	26
3.6.	Polímeros naturais	26
3.7.	Características da ETA-SAJ	31
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1.	Escolha dos parâmetros analisados	36
4.2.	Local e ponto de coleta	36
4.2.1.	Procedimento da coleta da amostra de água	36
4.3.	Ensaio de <i>Jar Test</i> (teste de jarro)	37
4.4.	Procedimentos realizados	38
4.4.1.	Suspensões padrão	38
4.6.	Procedimento das análises	41
5.	RESULTADOS/DISCUSSÃO	42
5.1.	Características da água bruta	42
5.2.	Resultados dos ensaios:	44
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	52
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

A Lei Federal 11.445 (BRASIL, 2007) conhecida como a Lei do Saneamento, garante a todo brasileiro água de qualidade para uso, tendo os parâmetros definidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/11. É importante tratar a água captada dos mananciais para oferecê-la de maneira que não cause nenhum problema de saúde em quem a utilize. Com essas diretrizes, as empresas concessionárias responsáveis pelo tratamento utilizam diversos métodos e materiais para cumprir o que a legislação afirma, utilizando de técnicas de coagulação, decantação, filtração, desinfecção, entre outros. Atrelado a essas técnicas, aborda-se no trabalho o uso de produtos auxiliares nos processos de clarificação da água.

Os coagulantes químicos bastante utilizados em todo o Brasil têm eficiência garantida dependendo da dosagem aplicada em águas com características específicas e essas dosagens conferem um gasto bastante considerável para as empresas responsáveis. Devido a isso, diversos trabalhos de pesquisa estão sendo desenvolvidos para a substituição ou redução do uso do sulfato de alumínio (mais utilizado nas estações de tratamento) e também visando a redução do uso de produtos químicos, que não se tem informações suficientes sobre os malefícios que podem trazer ao ser humano.

Nesse contexto, o *Abelmoschus esculentus*, conhecido como quiabo, fruta bastante utilizada na culinária brasileira, muito fácil de ser encontrada, apresenta propriedades coloidais que permitem a retenção de impurezas presentes na água e podem ser interessantes para utilização no processo de clarificação da água como auxiliar, podendo reduzir a quantidade de sulfato de alumínio lançado na água e conseqüentemente reduzindo gastos.

Na busca de soluções sustentáveis, ambientalmente eficientes e de baixo custo, essa tecnologia surge como alternativa viável, devido à grande produção do fruto na agricultura do país, principalmente na Bahia e suas propriedades químicas favorecem os processos de decantação e filtração, com conotação ambiental, devido ao baixo teor de toxidez. O quiabo como auxiliar no processo pode reduzir os custos para a empresa, que pode repassar para o consumidor, gerando um bem-estar social para toda a população

local, proporcionar uma opção a mais de comércio para a agricultura do fruto e reduzir a quantidade de elementos químicos na água, substituindo por uma substância orgânica.

O presente trabalho busca encontrar a quantidade ideal do sulfato de alumínio e do quiabo de forma a reduzir o uso do primeiro, atingindo águas de qualidade semelhantes ou superiores àquelas somente tratadas com a substância química e também observar a possível redução nos custos de produção da água, que poderá trazer diversos benefícios para toda a sociedade.

A água utilizada para análises e comparação do trabalho foi coletada na Estação de Tratamento de Água de Santo Antônio de Jesus – BA, local onde tratam cerca de 16.000 m³ diariamente para atender as populações das cidades de Santo Antônio de Jesus, Varzedo, Dom Macedo Costa e algumas localidades rurais da região, utilizando o corpo hídrico do Rio da Dona, o local foi escolhido devido às séries históricas de controle dos parâmetros das águas, tendo assim banco de dados para possíveis análises e obter conclusões mais específicas e confiáveis.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Testar a aplicabilidade do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) no processo de coagulação/floculação da água do Rio da Dona realizando ensaios de *Jar Test*.

2.2. Objetivo específico

- Testar se o quiabo em pó e sua mucilagem (baba) podem ser utilizados como auxiliar de coagulação quando se utiliza como coagulante primário o sulfato de alumínio em águas de baixa turbidez e elevados níveis de cor;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Propriedades da água

As fontes de água para abastecimento podem ser encontradas na natureza de duas maneiras: águas subterrâneas e águas superficiais (divididas em águas de planalto e planícies). Cada tipo de fonte agrega certas características, de acordo com o local onde está represada. A água bruta de fontes subterrâneas apresenta grande quantidade de minerais, alta quantidade de sólidos dissolvidos e de dureza, em contrapartida apresentam baixa quantidade de matéria orgânica, pois toda a matéria já foi filtrada pelo solo durante a percolação da água até o poço ou aquífero. Águas de lagos e córregos contêm escassa quantidade de minerais e baixos níveis de dureza e sólidos dissolvidos, mas são ricos em matéria orgânica – principalmente ácidos húmicos e fúlvicos – que garantem a cor amarelada dessas águas (AWT, 2008).

A água tem sido chamada de “solvente universal” devido à sua capacidade de dissolver praticamente todos os compostos químicos, por isso é quase impossível se obter uma água pura. Dessa maneira, as impurezas presentes na água podem ser classificadas como (AWT, 2008):

- **Dissolvida:** Sais inorgânicos tais quais: Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Cloro (Cl^-), Nitrato (NO_3^-) e Sulfato (SO_4^{2-}). Matéria orgânica: Ácidos húmicos e fúlvicos, pesticidas, detergentes, etc.
- **Suspensa:** Coloidal (orgânico e inorgânico) como argilas; areia (inorgânico) e subprodutos industriais e domésticos (orgânico e inorgânico).
- **Matéria viva:** microrganismos (bactérias, vírus, protozoários, algas) e macrorganismos (peixes, larvas, camarões, vermes, etc.).

3.2. Características físico-químicas da água

A caracterização das águas quantifica as impurezas de natureza física, química, biológica e radiológica, com o objetivo de definir, com segurança, as técnicas mais adequadas para seu tratamento, e também o monitoramento e avaliação da qualidade da água tratada que será distribuída aos consumidores. A definição dos parâmetros

importantes para serem analisados depende do objetivo do monitoramento (HELLER e PÁDUA, 2010).

Águas para abastecimento devem ser analisadas de acordo com os parâmetros descritos na Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011).

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos que são mais usuais na definição da qualidade da água são:

Físicos: cor, turbidez, níveis de sólidos em diversas frações, sabor, odor e temperatura;

Químicos: pH, alcalinidade, dureza e acidez;

Biológicos: microrganismos patogênicos ou algas.

A definição desses parâmetros é indispensável para estudos que envolvam o controle da qualidade da água (PIVELI, 2001).

Para fins de monitoramento contínuo da qualidade de qualquer água bruta devem ser levados em conta diversos parâmetros de acordo com o tipo de manancial. Para águas captadas diretamente de cursos d'água, há a necessidade de avaliar o pH, a alcalinidade, a turbidez e a cor verdadeira. Somente em casos especiais, devem-se monitorar outros parâmetros relacionados à contaminação por metais pesados ou fertilização das águas (LIBÂNIO, 2008).

Os parâmetros mais utilizados devido a sua determinação rápida em análises de águas para abastecimento apresentam características próprias e exercem influência na água que interferem nas etapas de tratamento. Aqueles que apresentam maior relevância são descritos abaixo: (LIBÂNIO, 2008; PIVELI, 2001).

Temperatura: As mais básicas alterações físicas são causadas pela mudança de temperatura da água. Quanto mais quente a água, maior a velocidade de decantação, pois as moléculas se tornam mais ativas, aumentando a dissolução e reação de qualquer composto químico adicionado na água com os sólidos presentes (MRWA, 2015).

A temperatura afeta o tempo de mistura no momento da coagulação, quanto maior a temperatura, mais rapidamente ocorre as interações e reações químicas, principalmente em compostos com natureza bioquímica de decomposição orgânica, mas também reduz a solubilidade de gases dissolvidos na água, especialmente o oxigênio, reduzindo a decomposição aeróbia. Caso a água esteja mais fria, as reações não ocorrerão de maneira correta, aumentando o tempo de formação dos coágulos e flocos, reduzindo a capacidade de coagulação. Águas com temperaturas abaixo de 15 °C apresentam problemas na etapa química do processo, sendo necessária a elevação da temperatura para que o tratamento ocorra de maneira satisfatória. A elevação da temperatura também auxilia no processo de desinfecção inativando espécies de microrganismos principalmente os oocistos de *Cryptosporidium sp.* (MRWA, 2015).

A temperatura influencia também na quantidade de coagulante, em temperaturas mais elevadas, o consumo de coagulante é menor, pois a viscosidade da água reduzida favorece a dispersão e mistura das substâncias na água, favorecendo o processo de hidrólise do coagulante. (SCALIZE, 2012)

SCALIZE *et al.* (2012) realizou uma pesquisa para avaliar a influência da temperatura na coagulação, testando amostras com variação de temperatura e diferentes coagulantes químicos. Experimentando o sulfato de alumínio como coagulante, chegou à conclusão que a eficácia do coagulante aumenta com a elevação de temperatura. Para águas com temperatura de 16°C a remoção de turbidez em 56%. Quando houve um aumento da temperatura da água 30°C no processo de coagulação a remoção de turbidez aumentou para 81%. A pesquisa indicou que a remoção de cor não sofreu variação de acordo com a temperatura.

Turbidez: Se deve à quantidade de sólidos suspensos como silte, argila e areia, além de matéria orgânica e inorgânica de fina granulometria que apresentam tamanhos maiores que o comprimento de onda da luz branca, tornando a água com aspecto escuro e turvo. A turbidez na água se deve ao carreamento de sólidos após uma chuva. Pode também ser causada pelo lançamento de esgotos domésticos e industriais não tratados no manancial (COUTO, 2004).

Em mananciais superficiais, a turbidez elevada provoca a redução da intensidade de luz que penetram no corpo hídrico, influenciando decisivamente nas características do ecossistema aquático. Quando sedimentam, essas partículas formam bancos de lodo que são digeridos por microrganismos anaeróbios, produzindo gases como metano e gás carbônico, além do gás sulfídrico, que é malcheiroso. O movimento ascensional dos gases provoca arrasto de partículas ainda não totalmente degradadas, provocando aumento da demanda de oxigênio na água (PIVELI, 2001).

A turbidez é um dos parâmetros mais importantes a se definir, além da alteração na etapa de coagulação/floculação (a presença ou ausência de turbidez indica a quantidade de produtos químicos necessários para que ocorra o tratamento eficiente), a turbidez também é fator importante nos processos de sedimentação, filtração e desinfecção. Por meio desse parâmetro é possível definir certas tecnologias para tratamento, assim como excluir outras que não surtiriam efeito caso fossem implantadas em águas com determinadas turbidez (PIVELI, 2001).

As águas superficiais são mais vulneráveis a turbidez alta, devido à grande deposição de areia, silte e argilas, além da matéria orgânica de folhas, algas e animais. Em águas naturais pode variar de menos de 1 UNT até maiores que 200 UNT. Já as águas subterrâneas sofrem filtração natural antes de chegar ao aquífero, reduzindo a turbidez. No sentido estético, águas com turbidez alta podem causar repugnância nos consumidores (MRWA, 2015).

A Resolução CONAMA 357 indica os valores máximos de turbidez para cada tipo de tratamento de águas para abastecimento humano. Águas que devem passar pelo processo de tratamento simplificado são aquelas que apresentam turbidez máxima de 40 UNT. Para o tratamento convencional, as águas devem apresentar turbidez máxima de 100 UNT. (BRASIL, 2005)

Em águas tratadas, valores abaixo de 8 UNT já não apresentam turbidez perceptível visualmente, com valores abaixo de 5 UNT são aceitáveis pelos consumidores, mas por conta da presença de microrganismos patogênicos, a OMS recomenda que as águas tratadas apresentem turbidez abaixo de 1 UNT e a Portaria nº 2914 (Brasil, 2011) exige o máximo de 0,5 UNT (HELLER e PÁDUA, 2010).

Em Estações de tratamento de água, a turbidez é monitorada nas etapas de decantação e filtração. Segundo Carvalho e Santos (2015) a turbidez deve ser monitorada para que seja garantido o funcionamento adequado e eficiente dos decantadores e filtros, pois se não estiverem bem operados, a turbidez serve como parâmetro indicador de ineficiência do processo, pois um dos principais objetivos do tratamento é a clarificação da água, ou seja, redução da turbidez e cor.

Para os filtros, caso a turbidez da água decantada esteja acima do ideal, haverá redução da filtração por conta da rápida colmatação do leito filtrante, acarretando em redução de volume filtrado e mais lavagens da camada filtrante. Quando a turbidez da água na saída dos filtros estiver acima de 5,0 UNT, o filtro deverá sair de operação para ser lavado (CARVALHO e SANTOS, 2015).

O processo de clarificação da água é interligado, assim as etapas dependem umas das outras, com o objetivo de otimizar todas as etapas, as águas em tratamento são monitoradas em diversos pontos, existem padrões de qualidade em cada ponto de monitoramento, sendo importante ressaltar o ponto afluente aos filtros, que devem receber águas com turbidez abaixo de 5,0 UNT, para que os filtros trabalhem com eficiência elevada e carreiras filtrantes duradouras. (LIBÂNIO, 2008; MENEZES, 2015).

Cor: A cor da água está associada à quantidade de luz absorvida pela amostra devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente em estado coloidal orgânico ou inorgânico (PIVELI, 2001).

A cor da água está relacionada com a presença de metais (Fe, Mn), húmus (matéria orgânica oriunda da degradação da matéria de origem vegetal) e plâncton (algas e animais microscópicos que estão presentes na água) (PIVELI, 2001).

Ácidos fúlvicos e húmicos são conhecidos com precursores para a formação de trihalometanos (THM). São compostos formados a partir da reação entre o cloro e esses ácidos, que podem continuar reagindo durante muito tempo, desde que haja cloro livre (MEYER, 1994). Os levantamentos epidemiológicos que relacionam a morbidade e

mortalidade por câncer devido às concentrações de THM não são conclusivos, mas apresentam evidências em alguns casos de carcinomas (MEYER, 1994).

Existem definições para cor aparente e cor real, onde a cor aparente está ligada às amostras que apresentam turbidez. A cor real ou verdadeira é a cor sem presença de turbidez, ou seja, após algum processo de filtração. Para abastecimento, água com cor aparente abaixo de 15 UC não apresentam problemas para consumidores, acima disso já apresentam problemas estéticos (HELLER e PÁDUA, 2010).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005), as águas naturais devem ter cor verdadeira até 75 UC, indicando que essas águas podem realizar tratamento convencional ou avançado. A NBR 12216 (ABNT, 1992) estabelece níveis máximos de cor na água precedida de decantação ou não para a entrada nos filtros de 20 UC. Já a água tratada, segundo a Portaria M.S. nº 2914 (BRASIL, 2011), deverá apresentar cor, no máximo, de 15 UC (mg pt-Co/L).

Em estações de tratamento, o monitoramento da remoção de cor na água deve ser realizado na saída do decantador. Para favorecer o processo de filtração, a remoção de cor na etapa de decantação deve ser superior a 90%. Caso não apresente tal característica, as etapas anteriores apresentam ineficiência no tratamento. A não remoção de cor também é indicador para o momento de lavagem do decantador (CARVALHO e DOS SANTOS, 2015).

A cor da água pode ser dividida em cor aparente ou cor real, a cor aparente é medida sem utilização de nenhum processo de remoção de turbidez, filtração, por exemplo, dessa maneira a turbidez influencia na retenção de luz e as amostras apresentam cor mais elevada. A cor real é medida após o processo retirada da turbidez da água, apresentando cor reduzida em comparação com a cor aparente (PIVELI, 2001).

pH: Representa a atividade resultante da dissociação do íon hidrogênio (H^+) na própria molécula, na forma logarítmica, e posteriormente a adição do hidrogênio proveniente de efluentes industriais, ácidos orgânicos da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, e qualquer outra substância que apresente reação ácida com a água (LIBÂNIO, 2008).

No tratamento de água para abastecimento, o pH é peça importante em diversos processos. A coagulação e floculação dependem de um pH ótimo para serem eficientes, sendo esse pH ótimo a situação em que as partículas coloidais apresentam menor carga eletrostática superficial (LIBÂNIO, 2008).

Quando há a dispersão do coagulante na água, ocorrem reações de hidrólise no alumínio, produzindo íons H^+ que reagem com os produtos responsáveis pela alcalinidade, que adsorvem íons carregados positivamente formando um gel de carga positiva, esse gel neutraliza as cargas negativas dos colóides e auxilia na sua aglomeração (DI BERNARDO, 1996; CARDOSO, 2003).

Estudos realizados por Pavanelli (2001) mostram que o pH tem papel essencial no processo de coagulação, dependendo do coagulante utilizado. A faixa encontrada para o sulfato de alumínio está compreendida entre 6,4 a 7,2.

Amirtharajah e Mills (1982) desenvolveram o diagrama de coagulação, onde o pH define o mecanismo e a faixa ótima de cada mecanismo para a coagulação eficiente, para que ocorra o mecanismo de varredura o pH entre 5,5 a 9,5 uma faixa ótima entre 6,5 e 8,5.

O pH também causa interferência no tipo e quantidade de coagulante utilizado, o cloreto férrico atua eficientemente em pH mais baixos do que o sulfato de alumínio, por exemplo. A quantidade de coagulante é limitada por conta da faixa de pH ideal para os mecanismos de coagulação, devido às reações provocadas pela dispersão dos coagulantes em contato na água, há o rebaixamento do pH, que caso saia da faixa adequada, causa redução na eficiência da coagulação. (PAVANELLI, 2001)

A utilização de compostos de cloro, o pH exerce papel significativo na eficiência da desinfecção, pois a dissociação do ácido hipocloroso ($HOCl$) e consequente formação do íon hipoclorito (OCl^-), sendo que o ácido hipocloroso tem eficiência muito maior, por volta de 80 vezes. Em pH elevados a dissociação é acelerada, influenciando negativamente o processo de desinfecção, portanto, é interessante manter a água em condições de pH abaixo de 8,0 até o processo de desinfecção, para assegurar a

prevalência superior a 80% do ácido hipocloroso na desinfecção e garantir maior eficiência no processo e efetuar a correção para distribuição (LIBÂNIO, 2008).

Segundo a Portaria M.S. nº 2914 (BRASIL, 2011), o valor de pH para distribuição deve ser mantido entre 6,0 e 9,0. Essa definição favorece a distribuição com a redução do potencial de danificação das tubulações por corrosão ou incrustações causadas respectivamente por pH ácidos ou alcalinos (PIVELI, 2001).

Alcalinidade: capacidade de uma amostra de água reagir quantitativamente com um ácido forte até um valor fixado de pH. Seus principais componentes são os íons bicarbonatos, carbonatos e os hidróxidos, que têm como características básicas, alguns outros sais fracos inorgânicos como silicatos, fosfatos ou ácidos orgânicos que também conferem alcalinidade à água, mas são pouco representativos e normalmente são desconsiderados. Cada um dos três componentes principais é calculado individualmente para definir a presença das diferentes alcalinidades (PIVELI, 2001).

Os hidróxidos presentes nas águas naturais se combinam com o sulfato de alumínio para formar hidróxidos insolúveis, íons de hidrogênio e íons sulfatos. Os íons H^+ fazem o pH baixar de certa forma que não há formação dos hidróxidos de alumínio, que precisam ser neutralizados, os bicarbonatos exercem esse papel, como agente neutralizador, impedindo a redução brusca no pH da água. A reação de cada mg/l do sulfato de alumínio com a alcalinidade natural da água requer 0,45 mg/l de alcalinidade como $CaCO_3$. (CARDOSO, 2003).

Os carbonatos e hidróxidos podem ocorrer em águas eutrofizadas, por conta da floração de algas que retiram o gás carbônico causando elevação de pH para valores até 10. A principal fonte de alcalinidade por hidróxidos provém de descargas de efluentes em águas naturais. Os bicarbonatos e os carbonatos são menos solúveis e levados às águas naturais pela passagem em solos ricos em calcário (PIVELI, 2001).

O tipo de alcalinidade pode ser encontrado de acordo com pH da água, há a presença de hidróxidos e carbonatos em amostras que apresentem pH entre 12,3 e 9,4; apresenta carbonatos e bicarbonatos em intervalos de pH de 9,4 a 8,3 e por fim, para águas com

pH entre 8,3 e 4,4 há a presença de apenas bicarbonatos como forma de alcalinidade (PAVANELLI, 2001).

Águas naturais com alcalinidade menor que 24 mg/L de CaCO_3 são consideradas de baixa alcalinidade e possuem capacidade tamponante pequena, por isso são mais suscetíveis a alterações no pH. Além de servir como tampão nas soluções, a alcalinidade serve como fonte de carbono inorgânico, elemento necessário para o processo de fotossíntese, suportando o crescimento do fitoplâncton e de macrófitas submersas (CHAPMAN 1996 apud HELLER e PÁDUA, 2010).

A alcalinidade influencia consideravelmente na coagulação durante o tratamento da água, uma vez que os coagulantes mais utilizados tem caráter ácido, assim, caso haja alcalinidade baixa, haverá a necessidade de adição de alcalinizante para ajustar o pH, mas se a alcalinidade e o pH forem altos, provavelmente a utilização do sulfato de alumínio será menos eficiente, por exemplo, pois o mesmo não conseguirá acidificar a água suficientemente para a faixa ótima (HELLER e PÁDUA, 2010).

A alcalinidade minimiza a queda acentuada do pH de coagulação, adquirindo maior relevância no mecanismo de varredura quando utiliza-se o sulfato de alumínio, devido à sua faixa ideal de pH de coagulação para formação do hidróxido ser mais restrita do que a do cloreto férrico. A dispersão do coagulante na água provoca o consumo da alcalinidade e também propicia a liberação de CO_2 , conseqüentemente abaixando o pH. Para minimizar a queda significativa do pH, aplica-se cal na unidade de mistura rápida, para auxiliar o processo de tamponamento da água (LIBÂNIO, 2008).

3.3. Lodo gerado nas estações de tratamento de água

As características do lodo gerado no tratamento da água dependem fundamentalmente do processo utilizado para tratamento. De modo geral, o lodo constitui-se a partir da água e dos sólidos suspensos contidos inicialmente na água bruta, somados aos produtos resultantes dos reagentes utilizados durante todo o processo. No tratamento convencional, as principais fontes de produção de resíduos são as unidades de decantação e filtração. Outros resíduos podem ser gerados também através das lavagens

periódicas de tanques de produtos químicos e nos processos de flotação, adsorção, abrandamento, adsorção em carvão ativado entre outros. (LIBÂNIO, 2008).

As características dos resíduos de decantadores apresentam grande variabilidade, podendo apresentar teores de sólidos entre 0,1 a 2%. Vários fatores que interferem nas características e quantidade de lodo gerado estão diretamente relacionados à eficiência da coagulação, floculação e a própria decantação. O tipo de decantador também altera a geração do lodo, decantadores de remoção mecanizada apresentam lodos menos adensados, devido ao breve tempo que ficam depositados no fundo. A remoção mecanizada do lodo é rara no Brasil, a maioria dos dispositivos brasileiros utiliza as descargas de fundo em bateladas, geralmente em períodos acima de 30 dias de operação, causando um maior adensamento do lodo, produzindo resíduos com maior quantidade sólidos. Já nos decantadores de alta taxa, os despejos são realizados por batelada sendo retirado diariamente por meio de descargas (LIBÂNIO, 2008).

Em estações que utilizam os sais de alumínio como coagulantes, a quantidade de sólidos totais e em suspensão estão na faixa de 120-370 mg/l e 50-100 mg/l respectivamente. (SILVA JÚNIOR, 2002).

Cardoso (2003) ao estudar o efeito do tipo de coagulante na formação do lodo, testou a dosagem de 20 mg/l de sulfato de alumínio para águas com turbidez e cor elevadas, encontrando uma formação de lodo na faixa de 4 ml/l, o procedimento realizado em água com turbidez média e dosagem de 12 mg/l, houve a formação de 1 ml/l de lodo.

3.4. Tratamento de água para abastecimento

A seleção do processo de tratamento de água é uma tarefa bastante complexa. As águas naturais apresentam características diferentes e dependendo da destinação que será dada, são tratadas de maneira diferenciada. A utilização de um ou mais processos de tratamento se deve à necessidade de conseguir os objetivos regulatórios de qualidade, agradar os consumidores (esteticamente) e utilizar os processos da maneira mais viável economicamente. Alguns fatores que podem ser listados para se definir os processos de tratamento são: remoção dos contaminantes, qualidade da fonte de água, condições

locais, flexibilidades nos processos, custos e compatibilidade ambiental (LETTERMAN *et al.* 1999).

O tratamento de água tem como objetivo melhorar a qualidade da água para o abastecimento humano e deve atender as seguintes finalidades: (LETTERMAN *et al.* 1999)

- Sanitária - removendo organismos patogênicos como bactérias, vírus e protozoários;
- Estética - removendo cor, sabor e odor da água distribuída;
- Econômica - tornando a água menos corrosiva às estruturas de distribuição.

Entre as diversas tecnologias para tratamento, se destaca o tratamento convencional, bastante utilizado nas ETA do Brasil que atende eficientemente as necessidades do processo de tratamento de água para abastecimento humano.

O processo de tratamento do sistema convencional é composto por várias etapas, sendo elas: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e correção de pH. Para o presente trabalho, foram abordadas as seguintes etapas:

3.4.1. Coagulação

No tratamento de água, a coagulação tem como objetivo transformar uma suspensão estável em instável, para isso a operação do processo de coagulação deve ser controlado tanto na desestabilização das partículas quanto no processo seguinte de agregação (floculação) (LETTERMAN *et al.* 1999).

Quando uma partícula se aproxima da outra, existem forças que as mantêm afastadas, assim como também há forças que tendem a mantê-las juntas. A força repulsiva mais conhecida é causada pela interação da dupla camada elétrica das superfícies (estabilização eletrostática). A força atrativa mais importante é chamada de London – Van der Waals, que surge de uma espontânea polarização elétrica e magnética que cria um campo eletromagnético flutuante dentro das partículas e no espaço entre elas. Essas duas forças, atrativas e repulsivas formam a base da teoria de Derjaguin, Landau, Verwey e Overbeek (DLVO), conhecida como a teoria da estabilidade coloidal. Outras

forças também estão associadas com a hidratação dos íons na superfície, a presença de polímeros adsorvidos, que podem causar repulsão ou atração (LETTERMAN *et al.* 1999).

É um processo que consiste em promover a interação entre partículas para a formação de agregados com tamanhos maiores, e tem como objetivo aumentar as chances de uma partícula interagir com a outra, para isso ocorrer é necessário desestabilizar a solução com a utilização de um coagulante. (LETTERMAN *et al.* 1999)

A coagulação tem como objetivo dispersar o coagulante rápida e uniformemente na massa líquida, de forma que cada litro da água que chega para tratamento receba a mesma quantidade de produto químico. A dispersão pode ser realizada por meios hidráulicos ou mecânicos (MEDEIROS, 2009). Na maioria das ETA utiliza-se a calha Parshall, que garante gradientes de velocidade altos, geralmente entre 700 a 1100 s⁻¹ em um tempo de mistura de no máximo 5 segundos, esses valores devem ser definidos após ensaios em laboratório. (ABNT, 1992).

Os coagulantes largamente utilizados no tratamento de água são os sais metálicos hidrolisados baseados em alumínio ou ferro. Essas substâncias estão sendo usadas rotineiramente desde o início do século XX e é uma das principais maneiras de remoção da maioria das impurezas de águas poluídas (GREGORY e DUAN, 2001).

A desestabilização da suspensão que permitirá a realização da coagulação é constituída por quatro mecanismos que agem em determinada faixa de pH na solução, após a inserção de íons de carga positiva como ferro e alumínio definidas como: (LIBÂNIO, 2008 e PAVANELLI, 2001).

- **Compressão da camada difusa:** os íons atravessam a camada compacta, reduzindo a força do potencial zeta e a espessura da dupla camada, permitindo a aproximação das partículas.
- **Adsorção-desestabilização:** ocorre imediatamente após a dispersão do coagulante na água formando espécies hidrolisadas de carga positiva que podem ser adsorvidas na superfície das partículas, esse mecanismo apresenta uma pequena faixa de

dosagem de coagulante e pH que apresenta eficiência na coagulação. Amirtharajah e Mills (1982) encontraram o pH ótimo para cada mecanismo da coagulação através do diagrama de coagulação, indicando um pH aproximado de 4,7 e a dosagem de sulfato de alumínio compreendida no intervalo de 5 a 70 mg/L.

- **Varredura:** é o mecanismo mais utilizado nas estações de tratamento e ocorre à medida que se eleva a dosagem do coagulante, em função das dosagens de coagulante e pH as partículas coloidais são adsorvidas e as suspensas envolvidas pelo precipitado de hidróxido de alumínio ou ferro. O diagrama de Amirtharajah e Mills (1982) indica o pH para esse mecanismo entre 5,5 e 9,0 em dosagens de sulfato de alumínio acima de 30 mg/L.
- **Formação de pontes químicas:** tem o objetivo de reduzir dosagens de coagulante e aumentar a densidade dos flocos, para isso são empregados polímeros orgânicos naturais ou sintéticos, conhecidos como auxiliares de floculação, com o emprego dos polímeros, a coagulação ocorre por intermédio da formação de pontes químicas, onde as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das diversas cadeias dos polímeros.

3.4.2. Floculação

A floculação tem como objetivo promover a interação entre partículas e formar agregados que serão removidos eficientemente em etapas posteriores como decantação, flotação e/ou filtração, para que a floculação ocorra, a suspensão deve ser desestabilizada, por isso a coagulação está diretamente relacionada com a floculação (LETTERMAN *et al.*, 1999).

A agregação dos flocos ocorre por meio de dois mecanismos: a micro-floculação, conhecida também como floculação pericinética, que as partículas se agregam devido ao movimento térmico das moléculas (movimento Browniano) e a macro-floculação, ou ortocinética, que a agregação acontece pela mistura da suspensão induzido pelos gradientes de velocidade (TZOUPANOS e ZOUBOULIS, 2008).

Para dimensionamento de unidades de floculação, a NBR 12216 define o tempo de detenção hidráulica para flocoadores hidráulicos de 20 a 30 minutos, com gradiente de velocidade escalonado com maior valor de 70 s^{-1} no primeiro compartimento e o menor de 10 s^{-1} , no último. (BRASIL, 1992)

3.4.3. Decantação

A decantação ocorre após a floculação, etapa onde a água deixa de ser agitada para passar pelo processo de sedimentação. Dentro dos decantadores os flocos maiores e mais pesados formados nas etapas anteriores descem para o fundo, constituindo o lodo e a água tratada sobrenadante é retirada na superfície através de calhas superficiais. A maior parte dos sólidos produzidos na ETA são retirados nos decantadores. Nele predominam impurezas coloidais, matéria orgânica, hidróxido de Alumínio ou Ferro e impurezas diversas. (MEDEIROS, 2009)

A velocidade da água nos decantadores deve ser reduzida ou limitada, para evitar o arrastamento de flocos, impedindo sua deposição. Segundo a NBR 12216 a velocidade de escoamento deve ser $0,5 \text{ cm/s}$ em ETA com capacidade para $10.000 \text{ m}^3/\text{dia}$ e em ETA com capacidades acima destas, entre $0,75$ e $1,00 \text{ cm/s}$ dependendo do controle operacional na estação (BRASIL, 1992).

Quanto ao aspecto hidráulico da sedimentação, os decantadores podem ser considerados de dois tipos: decantação turbulenta ou convencional, com regime turbulento com Reynolds acima de 2.000 , com taxas de escoamento superficial compreendidas entre $45 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ a $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ com tempo de detenção hidráulica entre $2,5$ e $4,0$ horas (MEDEIROS, 2009). A decantação de alta taxa, que é bastante utilizada, com regime laminar, onde são colocados módulos na área de escoamento para a redução brusca do número de Reynolds, com perfil tubulares, a taxa de escoamento pode atingir $200 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ e o tempo de detenção hidráulica reduzido à metade do tempo dos decantadores convencionais, sendo assim mais eficientes e mais utilizados nas ETA (MEDEIROS, 2009).

O lodo gerado é retirado por gravidade, através de adufas de fundo e encaminhado para tratamento e posterior destinação final, quando se trata de água de má qualidade,

especialmente quando há excesso de matéria orgânica, o lodo deve ser retirado antes de entrar em processo de fermentação (MEDEIROS, 2009).

3.5. Produtos químicos utilizados na coagulação

Os produtos químicos utilizados na coagulação da água para tratamento, geralmente são compostos de sais metálicos de alumínio ou ferro, sendo os principais: sulfato de alumínio, cloreto de alumínio, aluminato de sódio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado e o sulfato férrico. Os mais utilizados no Brasil são o sulfato de alumínio e o cloreto férrico (TZOUPANOS e ZOUBOULIS, 2008).

Juntamente com os coagulantes, utilizam-se também os auxiliares de coagulação e floculação, conhecidos como polímeros orgânicos que podem ser naturais ou sintéticos e apresentam diversas funções de: aumentar a velocidade de decantação dos flocos, aumentar a resistência ao cisalhamento dos flocos e reduzem a quantidade de coagulante químico adicionado à água (LIBÂNIO, 2008).

Os polímeros podem ser classificados como aniônicos, não iônicos ou catiônicos. O aniônico e o não iônico são usados após o coagulante primário para formação dos flocos de maior densidade. Os polieletrólitos catiônicos são utilizados como auxiliares de coagulação, por apresentarem cargas positivas, podem substituir até os sais de alumínio ou ferro, também são conhecidos como coagulantes secundários e podem ser utilizados em situações onde a floculação é difícil devido às variações de qualidade de acordo com a temperatura, geralmente apresentam melhor eficiência quando são lançados antes dos sais metálicos (PACHECO, 1975; LIMA, 2007).

Auxiliares de coagulação são materiais insolúveis que são adicionados na água para acelerar e melhorar o processo de coagulação, como exemplo dos materiais tem-se: argilas (bentonita, caulinita), silicato de sódio, carvão ativado, etc, que são adicionados em águas com baixa concentração de partículas para desenvolvimento de flocos maiores. A velocidade de sedimentação desses materiais é alta devido a sua alta densidade. Os auxiliares de floculação são adicionados após a desestabilização da solução para formação de flocos mais densos e resistentes às forças de cisalhamento e para favorecer o processo de sedimentação (LIMA, 2007).

3.5.1. Sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio apresenta composição típica $(Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O)$. Ao ser adicionado na massa líquida há a formação dos principais complexos a partir da hidrólise na presença do precipitado de hidróxido de alumínio $(Al(OH)_3)$. O alumínio, na solução comercial do sulfato de alumínio apresenta 9% do peso molecular do produto, ou seja, em cada 30 mg/L do produto comercial, há a presença de apenas 2,7 mg/L de Alumínio. O sulfato de alumínio é encontrado facilmente no mercado a preços mais baratos (LIBÂNIO, 2008).

A presença de alumínio residual em águas destinadas ao abastecimento humano pode causar problemas de saúde pública, as consequências do alumínio para a saúde ainda não são claras, em diversos estudos foram relacionadas às concentrações de alumínio no cérebro com doenças neurodegenerativas, mas sem obtenção de consenso, dessa forma, a legislação vigente não contempla os efeitos do metal na saúde da população (ROSALINO, 2011).

Valores superiores ou iguais a 0,1 mg/L de alumínio em águas destinadas ao abastecimento humano aumentam o risco de demência e declínio cognitivo (RONDEAU *et al.* 2008)

3.6. Polímeros naturais

Os polímeros naturais são utilizados como coagulantes e auxiliares de coagulação e floculação, os mais utilizados são os de amido que no Brasil são encontrados no amido de batata, mandioca e milho. Além dos amidos, encontram-se polímeros naturais a partir de taninos, que segundo Skoronski *et al.* (2014) são moléculas com propriedades coagulantes, que desestabilizam os colóides com a eliminação da camada de solvatação, diminuindo o potencial zeta durante o processo de coagulação e, assim, permitindo a formação de flocos. Desta forma, podem ser utilizados no tratamento de água de abastecimento no processo de coagulação e floculação, os taninos são comercialmente conhecidos como TANFLOC, e são produzidos a partir da casca da Acácia Negra. Outros polímeros naturais que podem ser citados são a *Moringa oleifera Lam*, quitosana (extraída das cascas de camarões e lagostas), utiliza-se também em diversos países

espécies de plantas e frutos que apresentam propriedades importantes no processo de coagulação (LIMA, 2007).

As vantagens de utilização de produtos naturais para o tratamento de água é que utilizam os mesmos mecanismos que os auxiliares sintéticos (polieletrólitos), apresentam menores custos de obtenção e geralmente fazem parte da alimentação humana, não sendo introduzidos elementos que possam causar risco à saúde. Portanto, a utilização dos polímeros naturais provoca uma relação favorável em termos de custo-benefício (LIMA, 2007).

As vantagens de utilização de produtos naturais para o tratamento de água é que utilizam os mesmos mecanismos que os auxiliares sintéticos (polieletrólitos), apresentam menores custos de obtenção e geralmente fazem parte da alimentação humana, não sendo introduzidos elementos que possam causar risco à saúde, portanto a utilização dos polímeros naturais provoca uma relação favorável em termos de custo-benefício (LIMA, 2007).

Sarpong e Richardson (2010) realizaram estudo para comparar a utilização da *Moringa oleífera* com o sulfato de alumínio como coagulantes primários em águas com turbidez entre 88 e 195 UNT utilizando as dosagens de Moringa entre 50 a 200 mg/L e de sulfato de alumínio entre 5 e 12,5 mg/L. As dosagens de *Moringa oleífera* nos ensaios de coagulação não alteraram o pH das amostras e alcançaram a remoção de turbidez acima de 90% com as dosagens acima de 50 mg/L, equiparando-se com a remoção apresentada pelo sulfato de alumínio.

Ramos *et al.* (2008) utilizou a semente de *Moringa oleífera* triturada em pilão e peneirada para a formação do pó e adicionou água destilada, com concentração de 2,5% para tratamento de água com turbidez baixa e cor elevada e observação dos gradientes de velocidade de mistura rápida e lenta adequados. Os resultados obtidos apresentaram gradiente de velocidade da mistura rápida mais eficiente: 100s^{-1} durante 60 segundos, e para mistura lenta: 20 s^{-1} durante 30 minutos, causando remoção de cor de 81% e de turbidez de 76%. As principais conclusões do trabalho indicam que tempos de mistura lenta acima de 15 minutos não favorecem a melhora na remoção de cor e turbidez.

Estudo realizado em águas com cor elevada e turbidez média apresentou resultados importantes com a utilização do TANFLOC SG e SL em substituição ao sulfato de alumínio, evidenciando uma possível substituição do coagulante primário sintético pelo natural, obtendo resultados exigidos pelas normas vigentes. Utilizando as dosagens de 20 mg/L do coagulante natural com concentração de 1%, o ensaio indicou uma remoção de cor e turbidez para faixas adequadas, demonstrando a eficiência do produto natural (PIANTÁ, 2008).

Utilizando a semente da Moringa triturada em liquidificador, Lo Mônaco *et al* (2010), testou a eficiência da solução de 10 mg/L de Moringa para tratamento de água com turbidez elevada. Nos ensaios de *Jar Test* foram definidos os tempos de mistura rápida e lenta em 30 segundos e 15 minutos, respectivamente, a velocidade de rotação da mistura rápida foi de 160 RPM enquanto a mistura lenta teve velocidade de 15 RPM. Os resultados indicaram uma dosagem de 4 mg/L do produto natural, alcançando a remoção de turbidez na faixa de 98%.

3.6.1. Quiabo

O quiabo (*Albemoschus esculentus*), também conhecido como *Hibiscus esculentus*, é uma planta nativa da África, que se espalhou por diversas áreas tropicais e subtropicais, especialmente EUA e Índia. É chamada de ‘gumbo’ na África e nos EUA e de ‘bhindi’ na Índia. Planta dicotiledônea pertencente à família das Malváceas, com altura entre dois e três metros que produz frutos anual ou semestralmente. Frutos esses que são vagens verdes de baixa caloria, ricos em gorduras e fibras, contendo importantes componentes bioativos como caroteno, ácido fólico, tiamina, riboflavina, vitamina C e aminoácidos. A vagem ainda contém uma espessa e viscosa mucilagem, que pode ser extraída na forma de uma goma viscosa (ANUPAM e SHANKER, 2014).

O quiabo é constituído quimicamente por mono, di e polissacarídeos e éster ou amidas de cadeia longa, apresentando grande quantidade de íon H^+ em sua estrutura e OH^- disponíveis ao longo da cadeia, favorecendo a interação entre o quiabo e as partículas instáveis do meio aquoso (BATHISTA *et al.* 2001).

O quiabo no Brasil é bastante cultivado, devido às condições excelentes do clima, sendo largamente cultivado nas regiões nordeste e sudeste. De acordo com o Censo agropecuário realizado em 2006, o Brasil produziu 116.990 toneladas de quiabo no mesmo ano, sendo a maior parte da produção na região sudeste, com 56% do total, a região nordeste ficou em segundo lugar com 32% da produção. A Bahia foi considerada o estado da região nordeste com maior produção do fruto, cerca de 17.000 toneladas (IBGE, 2006).

O uso do quiabo como coadjuvante da coagulação química, no tratamento de água tem conotação ambiental, principalmente se for associado ao uso de material renovável, devido ao baixo potencial de toxidez e ao potencial de sustentabilidade da agricultura familiar. Nesses tratamentos, utiliza-se o conjunto formado por coagulante e polímero (auxiliar de floculação ou filtração) para aumentar a eficiência da sedimentação, filtração ou flotação. Já os polímeros sintéticos não são biodegradáveis e ainda podem oferecer riscos à saúde humana (LIMA, 2007).

O quiabo apresenta propriedades flocculantes na forma de pó e de mucilagem, podendo ser preparados de diferentes maneiras, em diversos estudos realizados com o polímero, evidenciou-se ambas as formas garantem resultados favoráveis.

O quiabo em pó é considerado um polímero aniônico, por apresentar características negativas, sua cadeia longa facilita o ganho de peso e agregação dos flocos para melhorar o processo de sedimentação (LIMA, 2007). A extração da mucilagem do quiabo é classificada como um polissacarídeo aniônico, que pode ser utilizado como flocculante, além de não possuir sítios ionizáveis ao longo da cadeia, tornando possível a sua utilização também como coagulante (NOGUEIRA, 2012; BATHISTA *et al.* 2001).

Com a mucilagem do quiabo imaturo e o sulfato de alumínio, Lima (2007) utilizando amostras com turbidez e cor elevadas, encontrou remoção de turbidez de 92% nas dosagens de 5,0 e 10,0 mg/L, com concentração de 0,1%, enquanto a remoção para a utilização apenas do sulfato de alumínio se apresentou em 52% em dosagens de 15 mg/L com concentração de 1% (**Figura 3.1**).

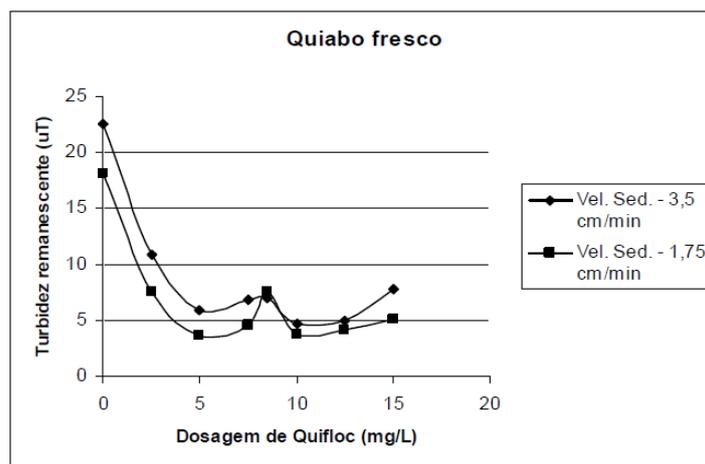


Figura 3.1: Resultados encontrados para a mucilagem do quiabo.
Fonte: Lima, 2007.

Lima (2007) contemplou o uso do quiabo em pó como auxiliar de floculação, utilizando o polímero natural do quiabo associado com o sulfato de alumínio para amostras de água apresentando cor e turbidez médias. Obteve resultados de eficiência de remoção de turbidez de cerca de 80% com dosagens de 0,2 e 1 mg/L com concentração de 1%, enquanto utilizando apenas o sulfato de alumínio, a água apresentou remoção de 22% da turbidez, com dosagem de 26mg/L e concentração de 1%. (**Figura 3.2**)

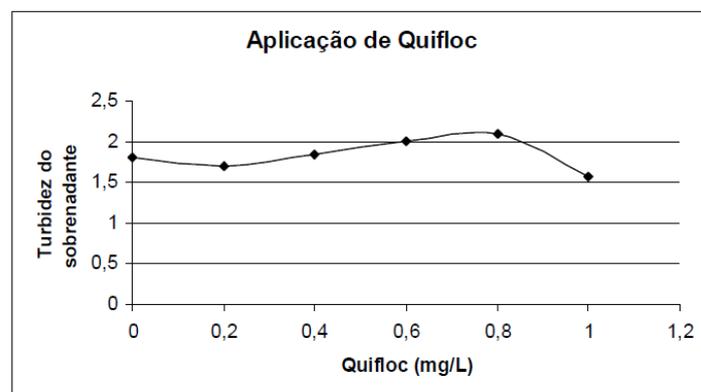


Figura 3.2: Resultados encontrados para o quiabo em pó.
Fonte: Lima, 2007.

Como conclusão, o autor informa que o quiabo em forma de pó é a maneira mais fácil de utilizar o produto como auxiliar de floculação e que o polímero natural produzido pelo quiabo maduro apresenta eficiência no processo de clarificação de águas com diferentes características, a mucilagem do quiabo não apresenta eficiência na remoção de turbidez das amostras, sendo mais indicada para uso em águas brutas com esse

parâmetro reduzido. O autor ainda indica que a redução da dosagem do coagulante pode ser reduzida, com o uso do auxiliar de floculação. (LIMA, 2007)

Morais *et al.* (2012) realizou ensaios de *Jar Test* para águas com turbidez elevada e utilizou diversos polímeros naturais como auxiliares de floculação para tratamento com o sulfato de alumínio. Utilizando a dosagem ótima de 21 mg/L de sulfato encontrou 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%, chegando à conclusão que o quiabo pode ser utilizado para redução da quantidade de sulfato de alumínio no tratamento de água para abastecimento.

3.7. Características da ETA-SAJ

O sistema de tratamento empregado na Estação de Tratamento de Água de Santo Antônio de Jesus está resumido no croqui abaixo (**Figura 3.3**)

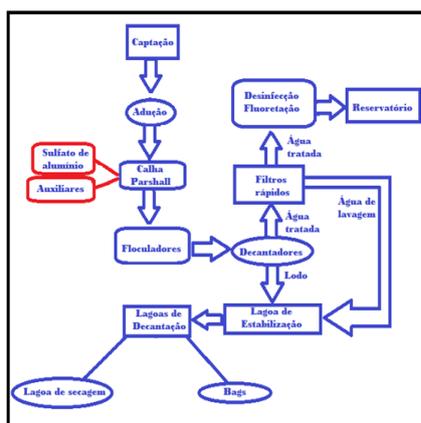


Figura 3.3: Croqui das etapas de tratamento da água na ETA - SAJ.

Fonte: Próprio autor.

O manancial utilizado pela ETA-SAJ para captação das águas para tratamento é o do Rio Dona. A água deste rio é utilizada para abastecimento urbano e rural, irrigação e dessedentação animal, usina hidrelétrica de pequeno porte, abastecimento industrial, aquicultura, lazer e turismo na área litorânea e navegação.

A captação de água é do tipo com reservatório de regularização de vazão com destino prioritário para abastecimento público de água. (HELLER e PÁDUA, 2010). Está

situada na barragem do rio da Dona, e segundo a Embasa, 2014 a adutora está localizada a 7,5 km de distância da Estação, com vazão de água bruta de 220 l/s, o sistema de captação opera com dois conjuntos moto-bomba para bombeamento da água que chega até a ETA.

O manancial onde é captada a água foi classificado pelo INEMA em 2015 como de qualidade de água bom, com valores próximos ao índice de água ótimo, e a Resolução CONAMA Nº 357/05 considerou a água bruta de Classe 2, necessitando de tratamento convencional para distribuição pública, os pontos analisados para a realização do monitoramento, as águas tiveram IQA de 84 e 73. A água bruta é caracterizada como de turbidez baixa e cor verdadeira elevada. Por se tratar de um reservatório, o monitoramento quanto à eutrofização do lago deve ser constante, com o intuito de evitar o afloramento de algas que prejudicam os processos de tratamento e reduzem a qualidade do manancial, na ETA, há o controle de algas por meio da aplicação de sulfato de cobre na água.

Após a captação e adução, a água é direcionada a um medidor Parshall (**Figura 3.2**), que é um misturador hidráulico utilizado para realizar mistura rápida do coagulante e medir a vazão da ETA. Trata-se de um canal de seção e declividade variáveis onde rege o princípio básico de impingir a alteração das características do escoamento, passando de supercrítico para subcrítico. É dotado de medidas padronizadas a partir da dimensão da garganta apresentados em uma tabela. Dessa maneira é possível determinar vazões e velocidade média de escoamento a partir da altura da lâmina d'água (LIBÂNIO, 2008).

A unidade é dotada ainda de uma calha de distribuição de coagulante, situado na garganta, imediatamente à montante do ressalto hidráulico para melhor solubilização do coagulante na água. O coagulante utilizado é o sulfato de alumínio em forma líquida com concentração de 50% com dosagem de 83 mg/L. A dispersão do auxiliar de coagulação é realizada após a dispersão do coagulante, na entrada da câmara de floculação, com dosagem de 0,20 mg/L. (**Figura 3.4**)

Após a etapa de coagulação, a água na estação de tratamento é conduzida pelo canal de água coagulada aos floculadores, onde ocorre a etapa de floculação, a ETA é dotada de dois floculadores hidráulicos de fluxo vertical helicoidal (**Figura 3.5**), com quatro

canais em cada floculador e vinte câmaras em cada canal, com um tempo de detenção hidráulica de trinta minutos (30min).



Figura 3.4: Calha Parshall da ETA de Santo Antônio de Jesus

Fonte: Próprio autor.



Figura 3.5: Floculadores de fluxo vertical da ETA de SAJ

Fonte: Próprio autor.

Com a conclusão das etapas anteriores, a água segue pelo canal de água floculada para o processo físico de decantação, a ETA de Santo Antônio de Jesus dispõe de dois decantadores de alta taxa (**Figura 3.6**), com fluxo vertical ascendente, em cada unidade há 8 colméias para deposição do lodo e 7 calhas de coleta da água clarificada. A remoção do lodo ocorre de maneira constante que reduz o gasto com água para lavagem dos decantadores. A água da saída dos decantadores é sempre monitorada, para que estejam dentro dos padrões de potabilidade e não causem problemas com a etapa de filtração seguinte.

A água decantada segue para os filtros, onde ocorre a etapa de filtração, a Estação em estudo dispõe de seis unidades de filtração com camada única de areia, de fluxo descendente com taxa de filtração de $280 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ (**Figura 3.7**). Estes são monitorados em intervalos de duas horas e sua carreira filtrante dura em média 34 horas.



Figura 3.6: Unidade de decantação da ETA de SAJ.

Fonte: Próprio autor.



Figura 3.7: Filtro rápido desativado para lavagem na ETA de SAJ.

Fonte: Próprio autor.

Terminado o processo de clarificação, a água ainda necessita passar pelo processo de desinfecção, cada filtro é acoplado a um reservatório que recebe a água filtrada e seguem para o reservatório de água tratada, juntamente com a fluoretação e a estabilização química utilizando o cloro gasoso que é lançado no reservatório a uma pressão de 210 kg de pressão por dia (**Figura 3.8**).



Figura 3.8: Reservatório de água tratada onde se realiza a desinfecção da água.

Fonte: Próprio autor.

A ETA-SAJ realiza o tratamento e reuso dos efluentes, a água retirada dos processos de tratamento do lodo voltam para o sistema para ser tratadas novamente, o que, segundo o técnico da ETA, garante um dia de abastecimento por mês na ETA, reduzindo a captação de água bruta do sistema.

O lodo gerado proveniente dos decantadores e da lavagem dos filtros é levado para um tanque de equalização (**Figura 3.9**), que tem a função de equilibrar hidraulicamente o lodo, reduzindo a velocidade do efluente. Após ser equalizado, o lodo segue para as lagoas de decantação (**Figura 3.10**), onde sofre o processo de adensamento por gravidade. A parte líquida, sobrenadante, é levada para o tanque de recirculação e a parte sólida que fica retida e encaminhada para os leitos de secagem (**Figura 3.11**) e bags. A disposição final da parte sólida do lodo é o aterro sanitário, mas estudos estão sendo realizados em parceria com a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia para sua reutilização.



Figura 3.9: Lagoa de equalização da
ETA – SAJ
Fonte: Menezes, 2015.



Figura 3.10: Lagoa de decantação da ETA
– SAJ
Fonte: Menezes, 2015.



Figura 3.11: Leito de secagem da ETA – SAJ.
Fonte: Menezes, 2015.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Escolha dos parâmetros analisados

Os parâmetros temperatura, pH, turbidez, cor, alcalinidade foram escolhidos para analisar a qualidade da água antes e após os ensaios com o teste de jarro, em função da importância de cada um no processo de tratamento de água para consumo humano e na capacidade da realização dos procedimentos de análises do laboratório da UFRB.

4.2. Local e ponto de coleta

O local para a coleta das amostras foi definido por se tratar do ponto mais próximo às instalações da ETA, porque o acesso era facilitado e permitia a coleta da água bruta antes de ser lançada na calha Parshall e iniciar as etapas de tratamento. Trata-se do mesmo local onde são coletadas diariamente as amostras utilizadas para a realização dos ensaios com teste de jarro a fim de obter as dosagens de produtos químicos a serem aplicados durante o tratamento da água.

4.2.1. Procedimento da coleta da amostra de água

Com veículo oficial da UFRB, as coletas foram realizadas pela manhã, com o auxílio do operador do turno em uma torneira com diâmetro 20 mm (**Figura 4.1**) que é localizada atrás da casa de química. Foram necessárias cinco visitas à Estação para completar o ciclo dos ensaios preliminares, que foram realizados no mesmo dia da coleta, para não ocorrer alterações significativas nas amostras e comprometer os resultados. Em cada visita, foram coletados 40 litros de água em galões para água mineral de 20 litros, devidamente higienizados e vedados.



Figura 4.1: Ponto de coleta da água bruta

Fonte: Próprio autor.

A coleta foi realizada rapidamente obedecendo às orientações do operador e os procedimentos indicados pela Sabinbiotec (Empresa Brasileira de análises de alimentos, água, ar e solo). Portanto, anotou-se as condições climáticas, horário, data da coleta e a temperatura da água coletada (**Quadro 4.2**). O tempo de viagem desde a coleta até a chegada ao laboratório foi de uma hora. Durante esse tempo a amostra não foi refrigerada.

Quadro 4.2: Informações climáticas, datas e horários das coletas.

	Coletas				
	1	2	3	4	5
Data	09/11/2015	23/11/2015	30/11/2015	07/12/2015	14/01/2016
Horário	09:40	09:20	08:40	08:30	10:00
Condições climáticas	Dia ensolarado, temperatura do ar elevada, sem presença de nuvens, sem ocorrência de chuva nas últimas 24 horas.	Dia nublado, tempo firme, temperatura do ar elevada, ocorrência de chuva fraca na noite anterior.	Dia ensolarado, tempo firme, temperatura do ar alta, sem ocorrência de chuva nas últimas 24 horas.	Dia ensolarado, temperatura do ar alta, poucas nuvens, sem ocorrência de chuva nas últimas 24 horas.	Dia nublado, temperatura amena com ocorrência de chuva de média intensidade nas 24 horas anteriores à coleta.

Fonte: Próprio autor.

4.3. Ensaio de *Jar Test* (teste de jarro)

O *Jar Test* é um aparelho dotado de agitação mecânica independente com seis jarros com volume de 2 litros cada e com 12 tubos de ensaio, sendo que desses, seis para as dosagens de coagulante e seis para dosagens de auxiliares de floculação. Cada tubo de ensaio recebeu uma dosagem diferente do coagulante e do produto auxiliar da coagulação, quando este foi utilizado.

Para a execução dos experimentos utilizando o equipamento estático *Jar Test* (**Figura 4.2**) foram predefinidas as velocidades de rotação das pás giratórias e os tempos de cada rotação. A mistura rápida 100 RPM durante 60 segundos a mistura lenta 45 RPM

durante 10 minutos e a decantação de 15 minutos, o aparelho é de fácil manuseio, sendo bastante simples essa programação.

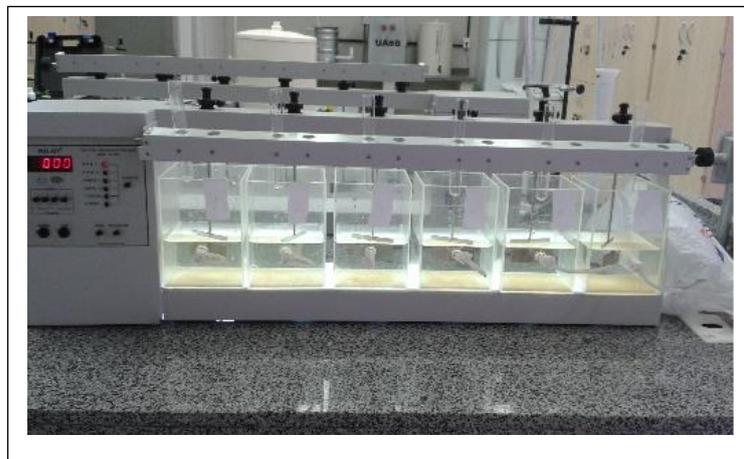


Figura 4.2: Equipamento de *Jar Test* sendo utilizado para definição da dosagem ótima de coagulante.

Fonte: Próprio autor.

Foi colocado um volume de 1 litro de água bruta nos seis recipientes e depois as cubetas foram inseridas no aparelho. Adicionou-se as diferentes dosagens de coagulantes nos tubos de ensaio que ficam presos em um suporte de maneira que ao girar o suporte o coagulante era despejado, simultaneamente, dentro de cada jarro. As dosagens iniciais de 60, 70, 80, 90, 100 e 110 mg/L, foram definidas de acordo com os valores empregados na ETA estudada, contemplando dosagens um pouco menores e maiores.

Em cada jarro há uma mangueira com trava onde se pode coletar a água para realizar as análises laboratoriais após o término do processo de decantação, pois estão situadas na parte mais alta, próximo à altura máxima da água nos jarros, favorecendo a coleta da água sobrenadante. Serve também para coletar amostra da água para realizar análise do pH ótimo para a floculação. Porém, esse procedimento não foi realizado.

4.4. Procedimentos realizados

4.4.1. Suspensões padrão

Quiabo em pó: o quiabo imaturo, adquirido em supermercado, foi processado em liquidificador e colocado em estufa a 150°C durante 2 horas. Após a secagem, o quiabo foi moído e passado na peneira de malha fina com abertura de 1 mm para que os grãos

ficassem homogêneos, dessa forma, retirou-se 3g do processado que foi adicionado a 300 ml de água destilada, para produzir a solução padrão com concentração de 10 mg/L ou de 1%. A suspensão apresentou coloração leve âmbar (amarronzada) (LIMA, 2007; JESUS, 2013).

Mucilagem do quiabo: Utilizou o quiabo imaturo cortado em fatias finas, deixado na água destilada durante 2 horas. Após esse período, o quiabo foi retirado por meio de peneira e a solução foi acondicionada em recipiente plástico e colocada em refrigerador a 4° C. Utilizou-se 24g do quiabo para 240 ml de água destilada, formando solução de 100 g/L. A quantidade de sólidos presente no quiabo corresponde a apenas 10% de sua massa, uma vez que o quiabo apresenta, aproximadamente, 90% de umidade (LIMA, 2007). A solução final apresentou-se como solução incolor com aspecto viscoso.

Sulfato de alumínio a 1%: O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ adquirido na própria ETA-SAJ, em concentração a 50% que foi diluído para uma concentração a 1% que seria utilizada no ensaio de *Jar Test*, de acordo com a metodologia de Carvalho e Dos Santos (2015). A solução de 1% (10g/L) foi produzida adicionando 20 ml do coagulante trazido da ETA a 50% em um 1L de água destilada.

4.5. Etapas dos ensaios preliminares

Foram realizados quatro ensaios preliminares para definição das dosagens ótimas: utilizando somente sulfato de alumínio; sulfato de alumínio e o pó do quiabo como auxiliar na coagulação e sulfato de alumínio e mucilagem do quiabo como auxiliar de coagulação. Em todos os ensaios foram realizadas análises da qualidade da água bruta e tratada, a fim de observar a eficiência do(s) coagulante(s) durante o processo de clarificação da água.

1ª etapa - Definição da dosagem ótima do coagulante sulfato de alumínio

- **Ensaio 1 - Dosagem do sulfato de alumínio:**

Para a realização do Ensaio 1 foram colocadas em cada um dos 6 jarros, 1 litro da amostra da água bruta e nos tubos de ensaio adicionou-se 6, 7, 8, 9, 10 e 11 ml da solução de sulfato de alumínio a 1%, que correspondem as dosagens de 60, 70, 80, 90, 100 e 110 mg/L. Assim, cada amostra foi submetida às análises dos parâmetros pré-definidos e os correspondentes valores foram anotados.

2ª etapa – Sulfato de alumínio e auxiliar natural (Quiabo em pó e mucilagem)

- **Ensaio 2:** Sulfato de alumínio e quiabo em pó:

Com a dosagem ótima de sulfato de alumínio definida no Ensaio 1, foi realizado o ensaio 2 que consiste em testar o quiabo em pó como auxiliar de coagulação.

Para analisar a eficiência do quiabo em pó como auxiliar de coagulação, foi colocado nos seis tubos de ensaio a dosagem considerada ótima pelo ensaio anterior (70 mg/L) e as quantidades de 1, 3, 5, 7, 9 e 11 ml do quiabo em pó, que com concentração de 10g/L representa 10, 30, 50, 70, 90 e 110 mg/L de auxiliar. O sulfato de alumínio e o quiabo foram adicionados simultaneamente nos seis jarros.

- **Ensaio 3:** Sulfato de alumínio e mucilagem do quiabo como auxiliar de coagulação:

Utilizando a dosagem ótima do sulfato de alumínio (70 mg/L) encontrado no Ensaio 1 e as quantidades de 1, 2, 3, 4, 5 e 6 ml da baba do quiabo com concentração de 100g/L que representam, respectivamente, as dosagens de (100, 200, 300, 400, 500 e 600 mg/L). Realizou o experimento a fim de observar se com uso da mucilagem do quiabo havia melhoria na qualidade da água tratada e se alterava a formação do lodo.

- **Ensaio 4:** Sulfato de alumínio e mucilagem do quiabo como auxiliar de floculação:

O ensaio consiste em analisar a baba do quiabo como auxiliar de coagulação sendo lançado 30 segundos após a dispersão do sulfato de alumínio. Da mesma maneira que a 1ª etapa, realizou os experimentos com a dosagem ótima encontrada do sulfato de alumínio (70mg/L) acrescentando apenas as dosagens da baba do quiabo considerando

as mesmas quantidades e concentrações da etapa anterior (100, 200, 300, 400, 500 e 600 mg/L).

4.6. Procedimento das análises

As análises laboratoriais de alcalinidade, pH, temperatura, cor aparente e turbidez foram realizadas seguindo a *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. (APHA, 2005)

5. RESULTADOS/DISCUSSÃO

5.1. Características da água bruta

A água do Rio da Dona apresentou pH em condição neutra (**Tabela 5.1**), o que indica estar na faixa ideal para a realização da etapa de coagulação, Santos e Matsumoto (2002) indicam que o pH da água bruta para a coagulação deve ser mantido entre 6,5 e 7,5, portanto não é necessário a utilização de alcalinizantes ou acidificantes para o processo de coagulação.

A alcalinidade está atrelada ao pH, sendo importante informar que a água bruta apresenta alcalinidade suficiente (**Tabela 5.1**) para reagir com os ácidos do coagulante sem rebaixamento brusco do pH.

A turbidez da água bruta do rio da Dona é considerada baixa, pois apresenta valor abaixo de 5,0 UNT (**Tabela 5.1**), não sendo necessário passar por processos de remoção além da filtração. Porém, apresenta cor aparente alta (**Tabela 5.1**), e por esse motivo há necessidade de utilizar o tratamento convencional. As águas do Rio da Dona utilizadas para abastecimento humano apresentam características indicadas pela Resolução CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005) que devem passar pelo processo de tratamento convencional, por apresentar o parâmetro cor acima de 75 UC.

Tabela 5.1: Média dos parâmetros da água bruta nos ensaios do laboratório da UFRB em jan/2016

<i>Parâmetro</i>	<i>Valores</i>
pH	7,25
Cor Aparente (UC)	72,1
Turbidez (UNT)	4,28
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	57,4

Fonte: Próprio autor.

As análises dos parâmetros turbidez, pH e alcalinidade da água bruta no laboratório se mostram compatíveis com os encontrados nos ensaios de *Jar Test* realizados diariamente na ETA – SAJ. O único parâmetro que apresenta valor médio incompatível é a cor aparente (**Tabela 5.2**) que pode ser explicada pela metodologia utilizada na

medição do parâmetro e por conta das análises na ETA serem realizadas imediatamente após a coleta, preservando suas características naturais, enquanto nos ensaios da UFRB não foram acondicionadas durante o trajeto, podendo causar alterações nos parâmetros.

Nota-se que o valor médio da cor aparente da água obtidas no Laboratório da UFRB foi de 72 UC, enquanto aquele encontrado pelos operadores da ETA-SAJ no ano de 2014 variou de 100 a 140 UC (**Tabela 5.3**), apresentando um valor médio de 127 UC. Já em 2016, a Cor aparente da água foi de 180 UC. Isso mostra a variação da cor da água ao longo do tempo.

A grande variação de cor apresentada na água mostra a importância da realização do ensaio de *Jar Test* diariamente, pois a cor da água apresenta variações que podem alterar a eficiência da coagulação.

Tabela 5.2: dados da água bruta analisada na ETA – SAJ no ano de 2014.

<i>Parâmetros</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Médio</i>	<i>Máximo</i>
pH	7,2	7,4	7,9
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	51	59	65
Turbidez (UNT)	1,8	3,4	6,9
Cor Aparente (UC)	100	127	140

Fonte: Menezes, 2015

Tabela 5.3: Dados da água bruta analisada na ETA – SAJ no ano de 2016.

<i>Parâmetro</i>	<i>Valores</i>
pH	7,5
Turbidez (UNT)	2,56
Cor Aparente (UC)	180

Fonte: EMBASA, 2016.

O valor máximo de cor exigido na saída dos decantadores é de 20 UC, de maneira que haja a remoção de matéria orgânica, tais como as substâncias húmicas, que aumentam

as possibilidades de formação THM no processo de desinfecção, substância que pode causar câncer, águas com cor acima deste valor determinado são consideradas como fora dos padrões.

As estações de tratamento de água monitoram a qualidade da água na saída dos decantadores, principalmente o parâmetro turbidez, caso os decantadores produzam água com turbidez acima de 5,0 UNT, os filtros podem colmatar mais rapidamente, reduzindo assim sua carreira e diminuindo a produção de água na ETA (SILVA, 2008).

Em função da variação da qualidade da água do manancial, a ETA-SAJ realiza ensaios de *Jar Test* diariamente a fim de obter a dosagem ótima de produtos químicos para o tratamento da água. Em função da qualidade da água a dosagem ótima de sulfato de alumínio varia.

Segundo Menezes (2015) as dosagens ótima de sulfato de alumínio no ano de 2014 variaram de 85 a 100 mg/L. Em 2016 esta dosagem de sulfato de alumínio chegou a 83 mg/L e de polímero a 0,20 mg/L. Estas resultam águas com 20 UC de cor e turbidez muito próxima de 1 UNT, com eficiências de remoção, respectivamente, de 89% e 55%. Portanto, conseguem essas dosagens conseguem produzir águas com o valor máximo de cor exigido na saída dos decantadores, que segundo a NBR12216/92 é de 20 UC e a turbidez da água abaixo de 5,0 UNT, que segundo SILVA (2008) é o máximo valor aceitável para águas decantadas, para não haver uma rápida colmatação dos filtros e redução da carreira de filtração. Com relação à filtração, a água bruta já atendia a esse requisito, o que permitiria o uso de uma filtração direta caso não apresentasse cor elevada.

5.2. Resultados dos ensaios:

- **Ensaio 1: Faixa de dosagem ótima do sulfato de alumínio**

O ensaio preliminar para definição da faixa de dosagem ótima do coagulante apresentou os seguintes resultados (**Tabela 5.4**).

Tabela 5.4: Resultados do ensaio de *Jar Test* realizado com sulfato de alumínio (Ensaio 1).

PARÂMETRO	ÁGUA BRUTA	CONCENTRAÇÕES (mg/L)					
		60	70	80	90	100	110
Temperatura (°C)	26,4	25,1	24,9	25	25,4	25,2	25
pH	7,85	6,61	6,45	6,22	5,2	4,9	4,81
Cor (UC)	73	22,8	19,3	31,6	25,4	19	29
Turbidez (NTU)	3,95	1,51	1,58	1,94	2,01	2,93	4,17
Alcalinidade total(mg/L CaCO ₃)	65,6	24	25	26	29	30	30

Fonte: Próprio autor.

As temperaturas das amostras nos jarros mantiveram-se constantes, próximo a 25°C, indicado por Scalize (2012) como temperatura ótima para a coagulação com sulfato de alumínio.

O pH das amostras teve uma redução em função da quantidade de coagulante químico disperso na água, o que é comum, pois segundo Pavanelli (2001) e Prakash *et al.* (2014) quanto maior a dosagem do coagulante há maior formação de íons H⁺ devido às reações com o alumínio proporcionando a redução do pH.

A cor das amostras apresentou redução em todas as concentrações de sulfato de alumínio, obtendo resultados melhores nas amostras de 60, 70 e 100 mg/L. Nota-se que a concentração ótima para uma água bruta com cor de 72 UC, a dosagem ótima foi de 70mg/L, com cor de 19 UC. Porém, nota-se algum erro nos procedimentos de análise em função da obtenção de valores de cor para as dosagens de 70 e de 100mg/L, portanto esses valores foram desconsiderados.

Foi observado que com o aumento da dosagem de coagulante a remoção de turbidez reduziu, indicando que possivelmente quando a dosagem se distancia da ótima a turbidez da água tratada tende a aumentar atingindo valores superiores ao da água bruta (**Tabela 5.4**). Isso também foi comprovado por Prakash *et al.* (2014), cujos resultados mostraram que dosagens acima da ótima de coagulação produzem amostras com remoção de turbidez menor, provando que aumentar a quantidade de sulfato não garante a eficiência da remoção de turbidez.

A alcalinidade foi reduzida, atuando como solução tampão para o sulfato de alumínio disperso na água conforme explicado por Cardoso (2003). Nota-se que apesar do pH ter reduzido a níveis ácidos, a alcalinidade se manteve próximo a 30 mg/L de CaCO₃ em todos os jarros, mostrando que a alcalinidade não reagiu de forma diferente às maiores quantidades de alumínio despejada nas amostras. A leve variação apresentada nos ensaios se deve ao método utilizado para definir a alcalinidade, utilizando o método titulométrico, variações baixas entre os jarros podem ser consideradas iguais devido à sensibilidade da virada de cor.

Como indicado por Menezes (2015), o processo utilizando o sulfato de alumínio alcança os objetivos de qualidade da água para os filtros, o uso de polímeros na ETA-SAJ como auxiliares de floculação têm como objetivo garantir aos flocos de tamanho e forma ideais para o processo de sedimentação e filtração, além da formação de um lodo mais estável e com menor teor de água.

Pode-se comparar essa dosagem com a encontrada nos testes de jarro realizados na ETA - SAJ no ano de 2014 (**Tabela 5.5**).

Tabela 5.5: Resultados para água tratada dos ensaios de *Jar Test* realizados pelos operadores da ETA-SAJ no ano de 2014.

Parâmetros	Mínimo	Médio	Máximo
pH	6,3	6,5	6,7
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	14	19	20
Turbidez (UNT)	0,7	1,1	1,7
Cor Aparente (UC)	20	25	79
Dosagem ótima (mg/L)	87	95	100

Fonte: Menezes, 2015.

A dosagem ótima utilizada apresentou média de 95 mg/L, valor consideravelmente alto em relação ao encontrado nos ensaios do laboratório da UFRB. A qualidade da água

bruta também apresentava cor mais elevada, podendo ser o motivo do aumento da dosagem, para melhor remoção da cor.

Em 2016, a EMBASA utilizou em seus ensaios as dosagens de 83 mg/L para garantir a qualidade da água nos ensaios de jarro, valor reduzido em comparação com os 95 mg/L indicados em 2014, mas ainda assim acima dos encontrados no ensaio do laboratório da UFRB.

Lima (2007) utilizou dois tipos de água para testar os diferentes tipos de auxiliares do quiabo, para isso encontrou a dosagem ótima do sulfato de alumínio para realizar os testes (**Tabela 5.6**).

Tabela 5.6: Características da água bruta utilizada e dosagem do coagulante químico encontrado por Lima (2007) para realização dos testes com os auxiliares

Polímero/Parâmetros	Cor (UC)	Turbidez (UNT)	Dosagem ótima sulfato de alumínio (mg/L)
córrego Sertãozinho	45	24,15	15
Rio Cuiabá	250	62	10

Fonte: Lima, 2007.

Lima (2007) afirma que na ETA para tratamento da água do Rio Cuiabá, que apresenta turbidez 62 e cor 250 utilizam como dosagem apenas o sulfato de alumínio 36 mg/L. Para a água do córrego Sertãozinho, com cor 45 UC e turbidez 24,15 UNT, a dosagem utilizada na ETA foi 14 mg/L.

Nota-se que tanto para águas com cor abaixo de 70 UC quanto para aquela com cor acima de 200 UC, as dosagens encontradas por Lima (2007) foram bastante inferiores aquelas encontradas para a água do rio da Dona, que foram de 83 e 70 mg/L, respectivamente, determinados pela ETA-SAJ e ensaios realizados no laboratório da UFRB. Essa variação é explicada por Prakash *et al.* (2014) que informa que águas com cor e turbidez elevadas utilizam menos coagulante

- **Ensaio 2 - Sulfato de alumínio e quiabo em pó como auxiliar de coagulação**

Os resultados apresentados na **Tabela 5.7** foram obtidos colocando nas amostras da água bruta a dosagem de 70mg/L (obtida como ótima no Ensaio 1) e simultaneamente diferentes dosagens do quiabo.

Tabela 5.7: Resultados do ensaio utilizando a dosagem do sulfato de alumínio (70mg/L) com diferentes dosagens da solução do quiabo em pó.

PARÂMETRO	ÁGUA BRUTA	Água tratada com 70 mg/L de sulfato de alumínio					
		Concentrações do quiabo (mg/L)					
		10	30	50	70	90	110
Temperatura (°C)	25,2	24,5	24,8	24,6	24,5	24,7	25
pH	6,83	5,9	5,84	5,85	5,78	6,01	6,33
Cor (UC)	74	30,9	22,4	33,1	33,1	40,1	47,1
Turbidez (NTU)	4,12	3,43	1,49	1,63	1,06	1,33	1,49
Alcalinidade total(mg/L CaCO ₃)	56	18	26	24	26	26	28

Fonte: Próprio autor.

Assim como no Ensaio 1, houve uma queda nos valores de pH da amostra de água, porém a redução foi menor, indicando a possibilidade do quiabo impedir a queda elevada do pH da água. Isso também pode ser notado pelo fato de ter ocorrido uma menor redução do pH das amostras de água nos jarros que obtiveram maiores dosagens de quiabo em pó.

Devido ao processo titulométrico de análise da alcalinidade, observa-se uma variação nos valores, que não indicam alteração por conta da adição do auxiliar. A variação só apresenta relevância entre os jarros 1 e 6, onde há a diferença de consumo de 10 mg/L de CaCO₃, situação que ajuda a confirmar a redução da acidez na água por conta da adição do pó como polímero natural.

Nesse ensaio foi observado também que ao se aumentar a dosagem do quiabo em pó, há um aumento da cor da água, indicando que o quiabo quando calcinado libera substâncias que podem conferir cor à água, por este fato, o aumento da dosagem de quiabo aumenta a cor aparente da água.

Houve remoção de turbidez (**Tabela 5.7**) acima daquela encontrada pelo sulfato de alumínio (**Tabela 5.6**) mostrando que o quiabo em pó tem eficiência como auxiliar de coagulação e aumenta a remoção de acordo com o aumento da dosagem até certo ponto. Pois quando se utilizou uma dosagem de quiabo de 70 mg/L houve um pico de maior remoção e acima dessa concentração a turbidez da água tratada passou a aumentar, indicando que dosagens mais elevadas podem provocar ineficiência do processo de clarificação como indicado por Pavanelli (2001).

A turbidez foi removida com sucesso, indicando que o quiabo promove uma agregação dos sólidos suspensos e formação de flocos mais densos e mais fáceis de serem removidos pelo processo de decantação.

Morais (2012) utilizou o quiabo em pó seco para testar a eficiência como auxiliar de coagulação/floculação. Em seus resultados, encontrou-se uma dosagem ótima do quiabo para remoção de turbidez em 30 mg/L, com remoção de turbidez próximo a 97%.

O quiabo em pó não se mostrou eficiente para uso como auxiliar de tratamento para remoção de cor, uma vez que houve aumento na cor da amostra d'água tratada (**Tabela 5.7**) comparada com aquela que usou somente sulfato de alumínio (**Tabela 5.6**).

- **Ensaio 3 – Sulfato de Alumínio e mucilagem (baba) do quiabo como auxiliar de coagulação, aplicado conjuntamente.**

Nesse ensaio foram utilizadas dosagens muito elevadas do produto auxiliar (baba do quiabo) em função da utilização da solução de mucilagem do quiabo sem diluição, o que provocou problemas na discussão dos resultados com outros trabalhos envolvendo o quiabo como auxiliar, pois as dosagens de auxiliares não devem superar 1,0 mg/L. Portanto, esse ensaio não se justifica, pois as dosagens são bastantes superiores a do sulfato de alumínio que sozinho, conseguiu atingir o objetivo do tratamento, porém optou-se por manter os resultados no trabalho.

O uso da mucilagem de quiabo em dosagens bastante superiores a do sulfato de alumínio até 100 mg/L se assemelha a qualidade da água tratada somente com o sulfato de alumínio, indicando, portanto, que a mucilagem não teve um efeito contrário.

Contudo, dosagens acima de 100 mg/L produzem água com qualidade inferior, uma vez que reduz a eficiência na remoção de cor e de turbidez (**Tabela 5.8**). Notou-se que essas dosagens elevadas também controlam a queda do pH da água. Piantá (2008), informa que o uso da mucilagem do quiabo como auxiliar de coagulação não altera o pH da água.

Tabela 5.8: Resultados do ensaio de *Jar Test* utilizando sulfato de alumínio e simultaneamente a baba do quiabo como auxiliar da coagulação

PARÂMETRO	ÁGUA BRUTA	Água tratada com 70 mg/l de sulfato de alumínio					
		Concentrações do auxiliar (mg/L)					
		100	200	300	400	500	600
Temperatura (°C)	25	25,1	25,3	25,4	25,4	25,1	25,2
pH	6,75	5,69	5,72	5,76	5,81	5,87	6
Cor (UC)	74,5	20	21,2	20,3	26,4	21,1	18,4
Turbidez (NTU)	4,15	1,96	1,72	2,67	2,87	0,61	3,47
Alcalinidade total(mg/L CaCO ₃)	50	34	28	28	26	22	16

Fonte: Próprio autor.

- **Ensaio 4 - Sulfato de alumínio com aplicação seguida da mucilagem do quiabo utilizado como auxiliar de coagulação**

Nesse ensaio foi observado que o uso da mucilagem do quiabo após a aplicação do coagulante primário teve um desempenho melhor do que quando aplicado simultaneamente com ele. Nesse caso dosagens acima de 100mg/L produziram água com qualidade melhor, não havendo diferença expressiva nas eficiências de remoção de cor e de turbidez (**Tabela 5.9**).

Tabela 5.9: Resultados obtidos com coagulante e mucilagem do quiabo como auxiliar de floculação. Ensaio 4.

PARÂMETRO	ÁGUA BRUTA	Água tratada com 70 mg/L de Sulfato de alumínio					
		Concentrações do quiabo (mg/L)					
		100	200	300	400	500	600
Temperatura (°C)	25	24,6	24,3	24,6	24,8	25	25,1
pH	7,0	6,12	5,9	5,8	5,8	5,7	5,93
Cor (UC)	66,2	20,3	17,1	16,8	13,7	14,9	8,6
Turbidez (NTU)	2,71	0,75	0,44	0,15	0,15	0,15	0,00
Alcalinidade total(mg/L CaCO ₃)	72	12	24	36	38	38	22

Fonte: Próprio autor.

De acordo com o ensaio citado acima, a dosagem mais adequada utilizando a mucilagem do quiabo como auxiliar da coagulação é de 100 mg/L, disperso após 30 segundos da mistura rápida com o coagulante de dosagem 70 mg/L. Porém, a aplicação do mesmo parece não ter efeito para a remoção de cor e sim de turbidez, uma vez que o sulfato de alumínio sozinho já consegue atingir cor aos níveis desejados.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados encontrados após a realização dos ensaios preliminares, indicaram a dosagem ótima do coagulante sulfato de alumínio sem utilização de auxiliares na faixa de 70 mg/L. Com essa dosagem, foi possível obter os requisitos mínimos para a continuação dos processos de tratamento da água do Rio da Dona.

A condução dos ensaios com altas dosagens de auxiliar prejudicou os resultados e não foi possível concluir sobre a influência dos auxiliares naturais para tratamento da água do Rio da Dona. Apesar das dificuldades, foi possível encontrar algumas características quanto aos parâmetros analisados:

As soluções não apresentaram melhoras significativas nas amostras, pois a dosagem de 70 mg/L utilizada já apresentava as condições para entrada nos filtros, não sendo lógica a utilização no tratamento.

As soluções de quiabo em altas concentrações atuam como tamponante, reduzindo a capacidade do sal metálico de acidificar a água e reduzindo o consumo de alcalinidade das amostras.

As recomendações para a expansão do trabalho são:

- A alteração dos gradientes de velocidade e tempo de mistura na busca do tempo e gradiente ótimos para tratamento da água do Rio da Dona;
- Utilização de outros métodos de extração da mucilagem do quiabo, como submergir em solução de sais que possam remover a mucilagem do fruto com maior eficiência ou utilizar outros equipamentos mais sofisticados;
- Utilizar dosagens menores da mucilagem e do pó, para ser utilizado como auxiliar de coagulação;
- Realizar repetições nos ensaios para confirmação dos resultados;
- Utilizar outros coagulantes químicos como o polissulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso;

- Abordagem de mais parâmetros para melhor mapeamento do processo, tais como sólidos sedimentáveis, totais e voláteis, coliformes termotolerantes, sabor e odor.
- Utilização de outros polímeros naturais como *Moringa Oleifera*, Acácia Negra, etc.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K.M. (1982). **Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation**. Journal of the American Water Works Association, v. 76, n. 4, p. 210-216, Apr.
2. ANUPAM, R.; SHANKER, L. S. **Funcional properties of Okra Abelmoschus esculentus L. (Moench): traditional claims and scientific evidences**. Plant Science Today. 2014. 121-130 pp.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. NBR nº 12216 –Rio de Janeiro – RJ. 1992. 18p.
4. AWT, Andela Water Techniek. **Impurities in water**. Holanda 2008. Disponível em: http://www.demiwater.nl/files/AWT_IMPURITIES_IN_WATER.pdf. Acessado em: 23/11/2015
5. APHA/AWWA/WEFF. EATON, A.D (2005); et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^a ed. Washington: American Public Health Association. 1082 p.
6. BATHISTA, A. L. B. S.; TAVARES, M. I. B.; SILVA, E. O.; NOGUEIRA, J.S. **Aplicações do polímero natural no tratamento de águas: baba do quiabo**. Apostila. 2001. Disponível em: http://www.geocities.ws/andre bathista/trabalho_quiabo_curriculo.pdf
7. BRASIL, Decreto Lei nº 357, de 17 de abril de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 53, p. 58, 18 mar. 2005, Seção 1.
8. 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.
9. CARDOSO, M. **Efeito do tipo de coagulante na produção de lodo de estação de tratamento de água**. 2003. 109 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC. 2003
10. CARVALHO, C. C. G.; SANTOS, M. F. **Manual de operação e manutenção de estação de tratamento de água**. 2015. Guaçuí – ES. 2015. Disponível em: <http://saaeguacui.com.br/downloads/MANUAL%20DO%20OPERADOR%20DE%20ETA.pdf>. Acessado em: 15/12/2015
11. COUTO, J. L. V. **Parâmetros: fatores técnicos e científicos**. Limnologia. UFRRJ - Brasil, 2004. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.html>

12. JESUS, E.; CRUZ, P. V.; PACIFICO, J. A.; SILVA, S. A. **Removal of turbidity, suspended solids and ions of Fe from aqueous solution using Okra powder by coag-flocculation process.** American Journal of Water Resources. 2013, 20-24 p.
13. DI BERNARDO, L.; PAES, C. R. A.; DI BERNARDO, A. S. **Influência da acidez da solução de sulfato de alumínio na eficiência da coagulação.** 1996. Escola de Engenharia de São Carlos. 5p.
14. DOS SANTOS, A. B.; MATSUMOTO, T. **Remoção da cor da água de abastecimento em diferentes níveis de pH.** XXVIII Congresso interamericano de Engenharia sanitária e ambiental. Cancún – Mexico. 2002. 4p.
15. GREGORY, J.; DUAN, J. **Hydrolyzing metal salts as coagulants.** Pure and applied Chemistry Vol. 73, No. 12, p. 2017 – 2026. 2001.
16. HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2010. Editora UFMG. 2ª Edição. 872 p. 2010.
17. INEMA, **1ª Campanha anual RPGA Recôncavo Sul.** 2011. 25 p. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/servicos/monitoramento/qualidade-dos-rios/relatorios-do-monitora/relatorio-da-1%C2%AA-campanha-2011/>. Acessado em: 13/02/2016
18. LETTERMAN R. D., AMIRTHARAJAH A, O'MELIA C. R. **Coagulation and flocculation.** Water Quality and Treatment. New York, McGraw Hill, Inc., 6.1–6.66. 1999.
19. LIBÂNIO, M.; VORCARO, B. M.; PEREIRA, M.; REIS, R. C.; HELLER, Léo. **Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada.** In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu. Anais Eletrônicos do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.
20. LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 2ª Edição. Campinas. Editora Átomo. 2008. 444 p.
21. LIMA, G. J. A. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto.** Dissertação de mestrado em engenharia ambiental, UERJ, Rio de Janeiro/RJ. 2007. 154p.
22. LSA, Laboratório de Saneamento Ambiental. **Metodologias de análises de águas e efluentes líquidos.** Brasil, 2008. 4p.
23. MEDEIROS, C. F. **Abastecimento de água.** Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2009. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Abastece.pdf>. Acesso em: 15/01/2016

24. MENEZES, D. S. **Estudo da dosagem ótima de coagulante (sulfato de alumínio) para tratamento de água do Rio da Dona.** 2015. Trabalho de conclusão de curso. UFRB. Cruz das Almas/Bahia. 57 p. 2015.
25. MRWA, Minnesota Rural Water Association. **Water and Impurities.** Water Works, Capítulo 2, 6p. Estados Unidos 2015. Disponível em: <http://www.mrwa.com/WaterWorksMnl/Chapter%202%20Water%20and%20Impurities.pdf>. Acessado em: 23/11/2015
26. NOGUEIRA, F. C. B. **Sementes de Moringa e pó do quiabo no tratamento de efluente sanitário.** 2012. Dissertação Mestrado. 76 p. Universidade José do Rosário Vellano. Alfenas – MG. 2012.
27. PAVANELLI, G. **Eficiência de Diferentes Tipos de Cogulantes, na coagulação, Flocculação e Sedimentação em Águas com cor e turbidez elevada.** Dissertação de Mestrado, São Carlos: USP, 2001.
28. PIVELI, R. P. **Curso Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos,** Notas de aula, EEUSP, 25 p. 2001.
29. PRAKASH, N.B.; SOCKAN, V.; JAYAKARAN, P. **Waste Water Treatment by Coagulation and Flocculation.** International Journal of Engineering Science and Innovative Tecnology. Vol. 3, No. 2, p. 479- 484, 2014.
30. RITTER, C. M.; MEDEIROS, F. V. S.. **Estudo da utilização de polímeros naturais *Abelmoschus esculentus* (L.) moench (malvaceae) e *Moringa oleífera* Lam (mongaceae) no tratamento de água de abastecimento.** 2013. 52p. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2013.
31. ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano.** 2011. 65 p. Dissertação Mestrado.
32. SARPONG. G; RICHARDSON, C.P. **Coagulation efficiency of *Moringa oleifera* for removal of turbidity and reduction of total coliform as compared to aluminum sulfate.** African Journal of Agriculture Research. 2010. Vol 5. nº 21. 2939-2944 p.
33. SCALIZE, P. S.; FIGUEIREDO NETO, A.; RIOS, F. P; ALBUQUERQUE, A. **Estudo da influência da temperatura da água bruta na eficiência do coagulante químico.** Revista SODEBRAS. v. 7, p 3-8, 2012.
34. SILVA, C. F. **Remoção de oocistos e de indicadores físicos de *Cryptosporidium parvum* em águas de abastecimento por meio da decantação: estudo em escala piloto.** 117 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais - MG. 2008.

35. SILVA JUNIOR, A. P. **Adensamento por gravidade de lodo de ETA gerado em decantador convencional e decantador laminar.** 2002. Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Cancún – México. 7 p. 2002.
36. SILVA, M. S. A.; RIBAS DOLL, M. M.; WIECHETECK, G. K.; RODRIGUES, R. N. S.; OROSKI, F. I. **Estimativa da quantidade de lodo produzido no tratamento de água do tipo convencional e Actiflo - comparação de metodologias.** In: **Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campus Gerais.** 2013, Ponta. Anais AEAPG. Ponta Grossa, 2013. v. 8.
37. SKORONSKI, E.; NIERO, B.; FERNANDES, M.; ALVES, M. M.; TREVISAN, V. **Estudo da aplicação de tanino no tratamento de água para abastecimento captada no rio Tubarão, na cidade de Tubarão, SC.** Ambiente e Água. Vol. 9, Nº 4. 680-687 p. 2014.
38. TZOUPANOS, N. D., ZOUBOULIS A. I. **Coagulation-flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents.** 6th IASME/WSEAS. 309-317 p. 2008. Grécia. 2008
39. MEYER. S. T. **O uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública.** Cadernos de Saúde Pública, Vol. 10. Nº 1. 99 – 110 p. 1994.
40. 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. 2012. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2012/trabalhos/9/1446-14783.html>. Acessado em: 25/02/2016.
41. MORAIS, D.D. **Eficiência da redução de turbidez de águas superficiais com o uso de polieletrólitos naturais como auxiliares de floculação.** Trabalho de conclusão de curso. 53 p. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Cuiabá – MT. 2012.