



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATO  
GROSSO.  
CAMPUS CUIABÁ - BELA VISTA  
DEPARTAMENTO DE ENSINO**

**DOUGLAS DIAS DE MORAIS**

**EFICIÊNCIA DA REDUÇÃO DE TURBIDEZ DE ÁGUAS SUPERFICIAIS COM O  
USO DE POLIELETRÓLITOS NATURAIS COMO AUXILIARES DE  
FLOCULAÇÃO.**

**Cuiabá  
2012**

**TECNOLOGIA SUPERIOR EM GESTÃO AMBIENTAL**

**DOUGLAS DIAS DE MORAIS**

**EFICIÊNCIA DA REDUÇÃO DE TURBIDEZ DE ÁGUAS SUPERFICIAIS COM O  
USO DE POLIELETRÓLITOS NATURAIS COMO AUXILIARES DE  
FLOCULAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnologia Superior em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso Campus Cuiabá Bela Vista para obtenção do título de graduado.

Orientador: Prof. MSc. Josias do Espírito Santo Coringa

**Cuiabá  
2012**

M828e

**MORAIS, Douglas Dias de**

Eficiência da redução de turbidez de águas superficiais com o uso de polieletrólitos naturais como auxiliares de floculação / Douglas Dias de Moraes - Cuiabá, MT: O Autor, 2012.

53f.il.

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Msc Josias do Espírito Santo Coringa.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso. Campus Cuiabá – Bela Vista. Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental.

1. Polieletrólitos 2. Ensaio de Coagulação/Floculação 3. Dosagem ótima I. Coringa, Josias do Espírito Santo II. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso.

CDD: 628.1622

DOUGLAS DIAS DE MORAIS

**EFICIÊNCIA DA REDUÇÃO DE TURBIDEZ DE ÁGUAS SUPERFICIAIS COM O  
USO DE POLIELETRÓLITOS NATURAIS COMO AUXILIARES DE  
FLOCULAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso em TECNOLOGIA SUPERIOR EM GESTÃO AMBIENTAL, submetido à Banca Examinadora composta pelos Professores do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso Campus Cuiabá Bela Vista como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduado.

Aprovado em: \_\_\_\_\_

---

**Prof. MSc JOSIAS DO ESPIRITO SANTO CORINGA (Orientador)**  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
(IFMT - Campus Cuiabá Bela Vista)

---

**Prof.Dra. ELAINE DE ARRUDA OLIVEIRA CORINGA (Membro da Banca)**  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
(IFMT - Campus Cuiabá Bela Vista)

---

**Prof. Dr. MARCOS FEITOSA PANTOJA (Membro da Banca)**  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
(IFMT - Campus Cuiabá Bela Vista)

**Cuiabá  
2012**

## **DEDICATÓRIA**

*Aos meus pais que me apoiaram e tiveram paciência no decorrer dos estudos, e aos amigos e colegas que me depositaram confiança.*

## **AGRADECIMENTOS**

Á Deus;

Aos meus familiares, pai mãe e irmãos pela confiança e apoio durante a graduação;

Ao professor MSc. Josias do Espirito Santo Coringa, pela orientação, dedicação e valiosa ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A professora Dra. Elaine de Arruda Oliveira Coringa, pela minha indicação para realização da pesquisa, e pela colaboração em alguns momentos da pesquisa.

A PROPES (Pró-reitoria de Pesquisa e Inovação) pela concessão da bolsa de iniciação científica para realização da pesquisa.

As técnicas responsáveis pelos Laboratórios do IFMT campus Cuiabá Bela vista: Aline, Andréia e Milena, pelo auxílio estrutural na parte experimental do trabalho.

Agradeço também ao corpo docente do IFMT, campus Cuiabá-Bela Vista que tiveram grande contribuição no enriquecimento do meu conhecimento sendo grandes profissionais e dedicados na arte de ensinar.

Certamente tenho me esquecido de citar alguém mais, porém agradeço a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente no êxito deste trabalho.

"Não pretendemos que as coisas mudem se sempre fazemos o mesmo. A crise é a melhor benção que pode ocorrer com as pessoas e países, porque a crise traz progressos. A criatividade nasce da angústia, como o dia nasce da noite escura. É na crise que nascem as invenções, os descobrimentos e as grandes estratégias. Quem supera a crise, supera a si mesmo sem ficar 'superado'. Quem atribui à crise seus fracassos e penúrias, violenta seu próprio talento e respeita mais os problemas do que as soluções. A verdadeira crise é a crise da incompetência... Sem crise não há desafios; sem desafios, a vida é uma rotina, uma lenta agonia. Sem crise não há mérito. É na crise que se aflora o melhor de cada um..."

*Albert Einstein*

*(1879-1955)*

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar as características físico-químicas da água do rio Coxipó propondo o seu tratamento com coagulante primário (sulfato de alumínio) e com polieletrólitos naturais (quiabo, aroeira, angico e mutamba) em ensaios de *jar-test*. Para isso foram efetuadas as amostragens no rio Coxipó em julho de 2011 e março de 2012, representativas dos períodos de seca e cheia. Os parâmetros físico- químicos avaliados foram: pH, turbidez, alcalinidade, cloreto, dureza e oxigênio consumido. Com base no resultado de turbidez pode-se determinar a dosagem ótima do agente coagulante empregado na clarificação da água bruta. Através dessa concentração de sulfato de alumínio aplicaram-se em conjunto os auxiliares de floculação, avaliando a eficiência e dosagem correta para uma boa redução de turbidez. Os resultados avaliados nesses diferentes períodos demonstraram uma boa eficiência dos polieletrólitos naturais como auxiliares de floculação, ao mesmo tempo foi verificada uma melhor clarificação da água bruta em comparação a simples utilização do sulfato de alumínio. O uso desses polieletrólitos em conjunto ao coagulante no período de seca permitiu aperfeiçoar o processo de coagulação /floculação pela dosagem ótima de sulfato de alumínio (7ppm) já estabelecida, enquanto no período de cheia esse aperfeiçoamento foi associado a uma diminuição da concentração ideal coagulante de 21ppm para 18ppm, sendo significativo tendo em vista que o consumo do coagulante nessa época foi maior devido à alta turbidez da água.

**Palavras-chave:** Polieletrólitos, Ensaio de Coagulação/Floculação e Dosagem Ótima.

## ABSTRACT

This work aimed to study the physical and chemical characteristics of the Coxipó river water proposing your treatment with primary coagulant (aluminum sulfate) and natural polyelectrolytes (okra, pepper tree, mimosa and mutamba) in jar-test trials. For the samples that were taken in the Coxipó river in July 2011 and March 2012, representing periods of drought and flood. The physical-chemical parameters were evaluated: pH, turbidity, alkalinity, chloride, hardness and oxygen consumed. Based on the result of turbidity can determine the optimum dosage of coagulant used in the clarification of raw water. Through this concentration of aluminum sulfate were applied together flocculation auxiliaries, evaluating efficiency and correct dosage for a good reduction of turbidity. The results evaluated on these different periods showed a good efficiency of natural polyelectrolytes as flocculation auxiliaries, while it was observed a better clarification of raw water as compared to simple use of aluminum sulfate. The use of these polyelectrolytes together coagulant in the dry period to refine the process of coagulation / flocculation the optimum dosage of alum (7ppm) already established, while in the rainy season this improvement was associated with a decreased concentration of coagulant ideal 21ppm to 18ppm, with significant considering that the consumption of coagulant that time was higher due to high water turbidity.

**Keywords:** Polyelectrolytes, Testing Coagulation / Flocculation and Optimal Dosage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Ponto de Coleta de água no Rio Coxipó .....	24
<b>Figura 2.</b> Medidor de pH marca MARCONI modelo MA-522/MA 522P .....	26
<b>Figura 3.</b> Aparelho de Turbidímetro marca POLICONTROL modelo AP 2000 .....	26
<b>Figura 4.</b> Amostras para determinação de alcalinidade: (A) antes da titulação, (B) após a titulação .....	27
<b>Figura 5.</b> Amostras para determinação de acidez: (A) Antes da titulação e (B) após a titulação .....	28
<b>Figura 6.</b> Amostras para determinação de cloreto: (A) Antes da titulação e (B) Após a titulação .....	29
<b>Figura 7.</b> Amostras para determinação de dureza: (A) antes da titulação e (B) após a titulação .....	30
<b>Figura 8.</b> Amostras para determinação de oxigênio consumido: (A) Amostras para análise de oxigênio consumido: (B) amostras para aquecimento, amostra com oxalato de amônio, (C) amostras após a titulação com $\text{KMnO}_4$ .....	31
<b>Figura 9.</b> Aparelho <i>Jar-test</i> .....	32
<b>Figura 10.</b> Eficiência da redução da turbidez em função da concentração da solução de pó de quiabo em período de seca. ....	37
<b>Figura 11.</b> Eficiência de redução da turbidez em função da concentração da solução de pó quiabo em período de cheia .....	38
<b>Figura 12.</b> Eficiência da redução da turbidez em função da concentração dos auxiliares de floculação em período de seca .....	39
<b>Figura 13.</b> Eficiência da redução da turbidez em função da concentração dos auxiliares de floculação em período de cheia .....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

EDTA - Ácido etilenodiaminotetracético

Al - Alumínio

Ca - Cálcio

Cl<sup>-</sup> - Cloreto

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DT – Dureza Total

Fc - Fator de Correção

Mg - Magnésio

$\bar{x}$  VG - Média aritmética dos volumes gastos em mL

mg.L<sup>-1</sup> - Miligrama por Litro

N – Normalidade

OC- Oxigênio Consumido

ppm - Parte por milhão

pH - Potencial Hidrogeniônico

rpm - Rotações por Minuto

Na - Sódio

uH - Unidades Hazen

NTU – Unidade Nefelométrica de Turbidez

ut - Unidade de Turbidez

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características comuns de alguns coagulantes.....	22
<b>Tabela 2.</b> Características físico-químicas da água do rio Coxipó na estação de seca e de chuva. ....	34
<b>Tabela 3.</b> Ensaio de coagulação floculação para determinação da dosagem ótima de sulfato de alumínio em período de seca. ....	36
<b>Tabela 4.</b> Ensaio de coagulação/floculação para determinação da dosagem ótima de sulfato de alumínio em período cheia. ....	37

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
2.1 O Tratamento de Água.....	16
2.2 Características físico-químicas da água .....	17
2.2.1 Turbidez.....	17
2.2.2 Cor .....	17
2.2.3 Temperatura .....	17
2.2.4 pH .....	18
2.2.5 Alcalinidade .....	18
2.2.6 Acidez .....	18
2.2.7 Dureza .....	18
2.2.8 Cloreto .....	19
2.2.9 Potencial Zeta.....	19
2.3 Coagulação e Floculação.....	19
2.4 Coagulantes Químicos.....	20
2.5 Auxiliares de Floculação .....	22
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 Coleta das Amostras.....	24
3.2 Tratamento das amostras dos auxiliares naturais.....	25
3.3 Preparo das Soluções.....	25
3.4 Caracterização Físico Química da Água Bruta do Rio Coxipó.....	25
3.4.1 Determinação do pH .....	26
3.4.2 Determinação da Turbidez.....	26
3.4.3 Determinação da Alcalinidade .....	27
3.4.4 Determinação da Acidez.....	27
3.4.5 Determinação de Cloreto .....	28
3.4.6 Determinação da Dureza Total .....	29
3.4.7 Determinação de Oxigênio Consumido .....	30
3.5 Determinação da Dosagem Ótima do Coagulante.....	31
3.6 Ensaios de Coagulação/floculação com Auxiliares de Floculação.....	33
3.7 Determinação da Eficiência da Redução de Turbidez da Água .....	33

<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
4.1 Parâmetros Físico-químicos da Água Bruta do Rio Coxipó em Período de Seca e de chuva. ....	34
4.2 Dosagem Ótima do Coagulante .....	35
4.3 Testes de Redução do consumo de Sulfato de Alumínio.....	37
4.4 Redução da Turbidez e Variação do pH .....	39
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>42</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>43</b>
<b>7. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>8. APÊNDICE.....</b>	<b>47</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um patrimônio essencial à vida humana, devendo estar disponível em qualidade e quantidade suficiente a todos. Entretanto, devido ao crescimento demográfico, associado a crescentes prejuízos ambientais, as águas tem adquirido elevada cor e turbidez, com diversidade de substâncias químicas e biológicas, encarecendo o seu processo de tratamento (CARVALHO, 2008).

As partículas coloidais, substâncias húmicas e microorganismos em geral, apresentam carga superficial negativa, e a força de repulsão impede que as mesmas se aglutinem (GROSSI *et al.*, 2009), sendo necessária a adição de agente coagulante para neutralização das partículas da água.

A coagulação/floculação e a decantação são algumas das primeiras etapas no processo de tratamento de água, que promove a clarificação da água removendo cor e turbidez, sendo fundamentais nesse processo. Caso não realizado com eficácia, as demais etapas de tratamento serão comprometidas (PAVANELLI, 2001).

De acordo com Carvalho (2008), os coagulantes inorgânicos à base de alumínio e de ferro tem sido os mais utilizados nas estações de tratamento de água. Entretanto, o uso extensivo dessas substâncias tem sido discutida do ponto de vista de saúde pública e ambiental, devido à possível geração de resíduos metálicos (alumina) na água tratada para consumo humano e disposição desses metais ao solo. Além disso, esses coagulantes possuem um pH ótimo para produzir bons flocos, sendo preciso, muitas vezes, ajustes nesse parâmetro pela adição de produtos alcalinizantes.

Devido a esse problema e aos associados à melhoria da qualidade da água, existe grande variedade de polieletrólitos de origem sintética presente para uso em tratamento de água, seja como coagulante ou como auxiliares de floculação, porém, a presença de monômeros que não reagem causa incerteza na aplicabilidade (LIMA,2007).

Diante disso, tem crescido a busca na biodiversidade por substâncias com propriedades coagulantes, que podem ser aplicadas em conjunto com os coagulantes, indicadas principalmente, para águas de elevada turbidez onde somente o uso de sulfato de alumínio é insuficiente.

Diversas plantas apresentam substâncias que podem contribuir com a melhoria da qualidade da água sendo responsáveis pela remoção da turbidez. Arantes (2010) ressalta o uso da *Moringa oleífera*, planta cuja semente contém proteínas responsáveis pela clarificação da água, e dos taninos, substâncias extraídas de espécies vegetais constituídos por compostos fenólicos.

Lima (2007), ainda destaca o uso de auxiliares de floculação naturais, como: o quiabo, usado na forma de solução feita do pó; da vagem pulverizada, ou a mucilagem (baba de quiabo); a mutamba ou chico magro e o cacau, usados também na forma de solução do pó.

Os polieletrólitos têm como propriedade a adsorção de metais pesados e neutralização de partículas em suspensão, e por se tratarem de moléculas biodegradáveis, podem ser destruídas no próprio tratamento.

Além disso, a sua utilização é ativa em uma ampla faixa de pH, eliminam a necessidade de utilização de alcalinizantes (hidróxido de cálcio ou hidróxido de sódio) e não acrescentam metais ao processo (SILVA, 2004).

Dessa forma, o estudo de novas substâncias, que sejam efetivas no tratamento de água, visando eficiência igualitária ou superior àquela obtida pelo uso do coagulante químico torna-se importante, tanto pelo seu valor econômico como, também, em relação à saúde, e a conservação do meio ambiente (CORAL ,*et al.*, 2009).

Este trabalho, visa analisar as características físico- químicas da água do Rio Coxipó, em estação seca e chuvosa, e propor o seu tratamento com coagulantes primários (sulfato de alumínio) e secundários (polieletrólitos naturais), avaliando a eficiência e dosagem correta para uma boa floculação.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O Tratamento de Água

Com a degradação do meio ambiente, muitos resíduos são lançados de forma precária aos corpos aquáticos, onde procedimentos como a remoção de mata ciliar associada a outros fatores têm causado prejuízos ambientais, conferindo elevada turbidez às águas naturais por uma grande variedade de substâncias, dificultando e encarecendo o processo de tratamento de água (PAVANELLI, 2001).

Estas substâncias dispersas na água irão atribuir às mesmas, características físicas, químicas e biológicas que definem a sua qualidade e tratamento adequado, de forma a torná-la potável (CARVALHO, 2008).

A água é um recurso primordial, de extrema importância, para a manutenção de vida e bem estar humano. Contudo, para que ela se destine ao consumo humano deve atender a requisitos mínimos necessários de potabilidade (SPINELLI, 2001).

Assim, no Brasil a qualidade da água é fundamentada por meio de duas normas legais, a Portaria 2914, de 12 de dezembro de 2011 e a Resolução 357/2005 CONAMA.

A Portaria nº 2914/2011 dispõem de procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. A Resolução CONAMA 357/2005, se dispõem da classificação das águas de forma a estabelecer o seu enquadramento, assegurando seu uso seguro e estabelecer condições para lançamento de efluentes.

De forma a atender esses requisitos, desde muito tempo já se conhece o processo de tratamento de água convencional, na qual se converte água bruta em água potável, consistindo na realização de várias etapas, como a clarificação (coagulação/floculação e decantação), logo após a água é filtrada, desinfetada e ajustada o pH e teor de flúor (BORBA, 2001).

Borba (2001), ainda destaca que, além desse tratamento convencional, existem outras modalidades de tratamento de água conhecidos como compactos ou simplificados, na qual é eliminado alguma etapa do tratamento convencional objetivando simplificar o tratamento e reduzir custos do tratamento. Apesar dessas diferentes opções de tratamento, ainda não é suficiente para atender a toda

população brasileira com água potável, mesmo que se torne mais simplificado e com baixo valor de investimento, no processo de tratamento.

## **2.2 Características físico-químicas da água**

### **2.2.1 Turbidez**

A turbidez se refere ao material suspenso na água desde suspensões grosseiras a colóides (CARVALHO, 2008). Assim esses materiais causam uma redução de luz que atravessa certa quantidade de água. Em sua maior parte, a turbidez é causada pela chuva que carrega partículas de argila e areia, até os corpos d'água (PAVANELLI, 2001).

A turbidez de causa natural não traz inconveniente de forma direta, porém, os materiais em suspensão podem servir de abrigo a microrganismos patogênicos, permitindo, assim, a sua proliferação (VIEIRA, 2004). O valor máximo permitido para água potável é de 5 ut (BRASIL, 2011).

### **2.2.2 Cor**

A cor da água é resultante, principalmente, da matéria orgânica vegetal, pelas atividades microbianas e humanas (PAVANELLI, 2001). Entre os constituintes da matéria orgânica se destacam colóides orgânicos presentes em folhas e em outros substratos. O maior problema da cor na água é o estético que pode ser recusado pelo consumidor (CETESB, 2008). Assim as águas superficiais estão mais sujeitas a apresentar cor do que as águas subterrâneas (PORTELA *et al.*, 2008). O valor máximo permitido para água potável é de 15 uH (BRASIL, 2011).

### **2.2.3 Temperatura**

Temperatura é uma medida da intensidade da agitação das partículas do sistema. Tem grande importância devido à interferência nas reações que ocorrem na água, e, na solubilidade de gases que lhes conferem sabor (PAVANELLI, 2001). A baixa temperatura afeta o processo de coagulação, pois diminui a solubilidade do agente coagulante. Com isso acarreta aumento na concentração do coagulante ou aplicabilidade de auxiliares de floculação (LIMA, 2007).

### **2.2.4 pH**

O pH expressa a quantidade de íons de hidrogênio livre na água. É um parâmetro relevante em diversas etapas do tratamento de água, onde o mesmo pode influenciar no processo coagulação/floculação, que apresenta uma condição denominada pH ótimo de floculação, ou seja, a menor quantidade de carga pelas partículas coloidais. Conseqüentemente na etapa de distribuição é afetada pelo pH, onde águas ácidas são corrosivas e alcalinas incrustantes (CETESB, 2008). O valor de pH estabelecido pela Portaria 2914, está no intervalo de 6,0 a 9,5 para águas tratadas.

### **2.2.5 Alcalinidade**

A alcalinidade constitui a capacidade da água neutralizar ácidos, a capacidade tamponante, da água de resistir à mudança de pH. A alcalinidade pode ser distribuída de três formas em função do pH: pH > 9,4 (hidróxidos e carbonatos), pH entre 8,3 e 9,4(carbonatos e bicarbonatos) e pH entre 4,4 e 8,3(apenas bicarbonatos) (BRASIL, 2006).

Essa característica é de extrema importância na água, pois os coagulantes comumente apresentam atuação ácida, reduzindo a alcalinidade, diminuindo assim o valor de pH. Com isso em algumas situações torna-se necessário a aplicação de agentes alcalinizantes para o equilíbrio do pH (PAVANELLI, 2001).

### **2.2.6 Acidez**

Em contraposição a alcalinidade, a acidez mede a capacidade da água resistir à mudança de pH provocada pelas bases. A sua origem pode ser natural como pelo CO<sub>2</sub> absorvido pela água, decomposição de matéria orgânica ou antropogênica causada por despejos industriais. Do mesmo modo que a alcalinidade a sua distribuição também é em função do pH: pH > 8,2 (CO<sub>2</sub> livre ausente), pH entre 4,5 e 8,2(acidez carbônica e pH < 4,5 (acidez por ácidos fortes minerais) (BRASIL, 2006).

### **2.2.7 Dureza**

A dureza refere-se à concentração de cátion multivalentes na água, sendo os mais comuns o cálcio e o magnésio (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>), e em menor escala, ferro,

manganês entre outros. A sua origem pode ser natural como pela dissolução de rochas calcárias, ou antropogênicas como lançamentos de efluentes industriais. Águas com elevados valores de dureza reduzem a formação de espuma e consumindo maior quantidade de sabão, além de provocar a formação de incrustações nas tubulações em função da precipitação de cátions (BRASIL, 2006). O valor estabelecido para água potável conforme a Portaria 2914/11 é de  $500\text{mg.L}^{-1}$ .

### **2.2.8 Cloreto**

O cloreto se origina em águas subterrâneas por meio da percolação da água através de solos e rochas, já em águas superficiais são oriundas da descarga de esgoto sanitário, sendo utilizado como indicador de contaminação (CETESB, 2008).

Nas águas tratadas, a adição de cloro leva a um aumento da concentração de cloreto devido à dissociação que o cloro sofre na água, assim o mesmo em valores elevados pode causar a corrosão de estruturas hidráulicas, por isso muitos são substituídos por de polietileno (CETESB, 2008). Segundo a Portaria 2914 de dezembro de 2011 o valor máximo permitido de cloreto na água para consumo é de  $250\text{mg.L}^{-1}$ .

### **2.2.9 Potencial Zeta**

O potencial zeta é a medida do potencial elétrico das partículas e o meio líquido onde a mesma está inserida (BORBA, 2001). O processo de coagulação consiste na redução desse potencial, onde a adição de um coagulante catiônico reduz as forças repulsivas entre as partículas facilitando a aglutinação (WESLLER *et al.* 2003). A sua redução ocorre quando a superfície das partículas se torna zero, ou seja, a concentração de carga no sistema são iguais. A sua redução, também pode ser feita por meio de ajuste de pH, ou pela adição de íons, com carga oposta ao sistema que irá promover neutralização de carga primária (SILVA, 1999).

## **2.3 Coagulação e Flocculação**

Uma das grandes variedades material encontra-se, em águas *in natura*, conferindo a mesma cor e turbidez, que devido ao tamanho microscópico

que dificulta o processo de sedimentação (LIMA, 2007). Devido à repulsão entre essas partículas, as mesmas não se aproximam, sendo necessário para isto alterar as suas características pela adição de agentes coagulantes (CARVALHO, 2008).

A coagulação de uma água turva é um processo que tem por objetivo a formação de partículas desequilibradas denominadas coágulo. Essa etapa consiste na adição de um composto químico à água bruta seguida por uma mistura rápida que promova a sua homogeneização (PAVANELLI, 2001). Já a floculação trata-se da aglomeração dessas partículas coaguladas (BORBA, 2001). Como são processos que ocorrem entre si, simultaneamente, são denominados em conjunto como coagulação/floculação. De acordo com Lima (2007), a eficiência desses processos depende de características da água *in natura* tais como: pH, alcalinidade, turbidez, temperatura entre outros.

O processo de coagulação/floculação ocorre juntamente com a decantação propiciando a clarificação da água, proporcionando a remoção de cor e turbidez (CARVALHO, 2008).

Quando a água necessita passar pelo processo de coagulação/floculação esse processo será de grande importância nas demais etapas de tratamento. Caso a coagulação ocorra de forma deficiente comprometerá o processo de sedimentação que deixará materiais suspensos e a filtração que não reterá todas as impurezas (BORBA, 2001).

## **2.4 Coagulantes Químicos**

No processo de tratamento de água, o termo coagulação indica a adição de um composto químico que reage com as impurezas da água formando flocos gelatinosos que promove a remoção de materiais em suspensão na água. Essas substâncias aplicadas são geralmente sais de alumínio e de ferro (SILVA, 1999).

Segundo Borba (2001), os coagulantes clássicos aplicados atualmente devido a grande eletropositividade quando dissolvidos em água, geram compostos gelatinosos dotados de carga positivas, que por atração eletrostática atuam neutralizando as partículas suspensas na água.

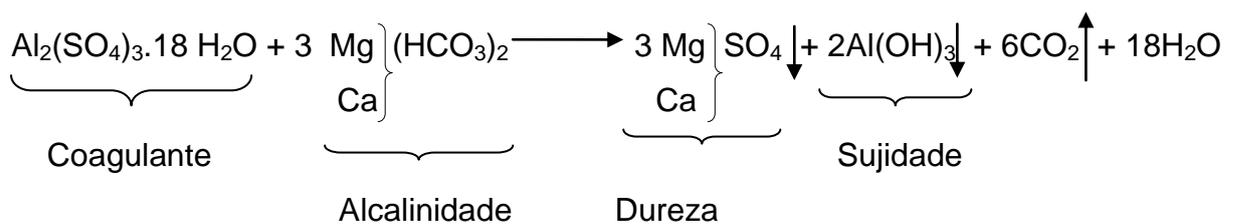
Entre esses coagulantes incluem sais de alumínio como o sulfato de alumínio, aluminato de sódio e vários produtos preparados comercialmente tais como

cloridrato de alumínio e hidróxi – cloreto de alumínio. Entre os sais de ferro destaca-se o cloreto férrico e formulações de poliferro (SANTOS, 2004).

O sulfato de alumínio é o coagulante de uso mais generalizado no Brasil e no mundo. Sua vantagem se deve ao preço acessível, fácil transporte além de sua óptima eficiência na maioria das águas (LIMA, 2007).

Segundo Lima (2007), a principal desvantagem desse agente coagulante se refere a possível geração de resíduos de alumínio na água acima do estabelecido pela Portaria 2914 (0,2mg/L), apesar de não haver estudo conclusivo de sua associação com danos à saúde.

A coagulação de uma água *in natura* ocorre por meio de neutralização da acidez do coagulante e da alcalinidade da água bruta (CARVALHO, 2008), conforme a equação química seguinte:



O processo de coagulação/floculação só ocorrerá se a água contiver alcalinidade natural ou conferida. Caso essa propriedade seja baixa esse processo será ineficiente devido ao excesso de prótons liberado pelo coagulante químico (BORBA, 2001).

Dessa forma a escolha e dosagem correta do agente coagulante aplicado são feitas por meio de ensaio de bancada em *jar-test*, onde por meio desse estudo pode-se determinar o efeito de diferentes coagulantes na mesma condição de dosagem, ou de diferentes dosagens de mesmo coagulante (PORTELA E REZENDE, 2008). Na Tabela 1 são apresentandos os principais agentes coagulantes aplicados e suas características:

**Tabela 1.** Características comuns de alguns coagulantes

Coagulante	Composição típica	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ou Fe (%)	Ponto de Congelamento (°C)	Viscosidade (Cps)*	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Sulfato de alumínio Líquido	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .14H <sub>2</sub> O	8,3	-8	20	1,32
Sulfato de alumínio Seco	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .14H <sub>2</sub> O	17,1	Não disponível	Não disponível	Não disponível
Sulfato de alumínio com ácido a 30%	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .14H <sub>2</sub> O + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	5 a 8	-10 a -17	20	1,26 a 1,30
Cloreto férrico	FeCl <sub>3</sub> (30 a 40%)	12 a 14	-20 a - 50	3 a 10	1,26 a 249
Sulfato ferroso	Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	10 a 12,5	-40	30	1,48
PACI (50% de basicidade)	Al(OH) <sub>1,5</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>X</sub> (Cl) <sub>Y</sub>	6 a 10,25	-12	7	1,20
PACI (70% de basicidade)	Al(OH) <sub>2,1</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>X</sub> (Cl) <sub>Y</sub>	10,5	-11	10	1,23
ACH (cloridrato de alumínio)	Al(OH) <sub>2,46</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>X</sub> (Cl) <sub>Y</sub>	23,6	-6	20	1,35
Aluminato de sódio	NaAlO <sub>2</sub>	20 a 45	- 3,2	300	1,50
PASS (sulfato silicato de poli alumínio)	AlCaaNab(OH) <sub>X</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>Y</sub>	10	0 a 5	17	1,33

**Fonte:** Santos,2004

## 2.5 Auxiliares de Floculação

Visando suprir o problema referente à forte dependência das propriedades da água, uma grande variedade de polímeros vem sendo desenvolvidos, para serem aplicados em conjunto com o coagulante químico (CARVALHO, 2008).

Segundo Wesller *et al.*, (2003), os polieletrólitos são polímeros tais como proteínas, polissacarídeos, de origens naturais ou sintéticas que podem ser classificadas em catiônico, aniônico e não iônico de acordo com a carga polimérica.

Portela e Rezende (2008) destacaram que os polieletrólitos catiônicos são aqueles que ao serem dissolvidos em água adquirem cargas positivas, os aniônicos são aqueles que adquirem carga negativa e os não iônicos não se ionizam.

Os polieletrólitos aniônicos e não iônico não são considerados polieletrólitos, mas são inclusos nessa categoria devido a semelhanças em aplicações, no Brasil

devido as características das águas e dos materiais suspenso os mesmos são os mais aplicados (SANTOS *et al.*, 2010).

Quando a coagulação é realizada por polieletrólitos, a mesma pode ocorrer sem a necessidade de reações químicas, uma vez que esses compostos são dotados de pontos ionizáveis em sua cadeia, podendo ser aplicados em ampla faixa de pH (BORBA, 2001).

Na clarificação de uma água bruta a seleção de um auxiliar eficiente é feita em função de características do mesmo em relação à remoção de materiais suspensos, bem como ao custo de sua aplicação na produção de água tratada (NOGUEIRA, *et al.*, 2010).

Segundo Lima, (2007) o uso dos auxiliares sintéticos causa incerteza na sua aplicação devido a possível liberação de monômeros que não reagem e podem conferir certo grau de toxidez à água.

Diante disso, tem crescido a busca na biodiversidade por materiais com propriedades coagulantes que apresente baixa toxidez, e que possam ser aplicada de forma simples e barata (BORBA, 2001).

O emprego de polieletrólitos naturais deve ser melhor pesquisado e estimulado de forma que possam substituir substâncias potencialmente perigosas. Além disso, esses são obtidos sem processos químicos complexos e podem tornar-se mais atrativos que os sintéticos também no aspecto econômico (DI BERNARDO, 2000).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Coleta das Amostras

A água de estudo foi coletada no Rio Coxipó no município de Cuiabá-MT, próximo à Estrada do Moinho, sendo feitas as amostragens em períodos de **seca** e de **cheia**. As amostragens foram efetuadas em julho de 2011, para o período de seca, e em março de 2012 para o período de cheia. As amostragens consistiram em utilizar garrafão com capacidade de 20 L e tambor de 50 L para acondicionar as amostras. A Figura 1 representa o ponto de captação das amostras de água.



**Figura 1.** Ponto de Coleta de água no Rio  
Fonte: Imagem Google Earth 2012.

### **3.2 Tratamento das amostras dos auxiliares naturais**

O preparo dos constituintes naturais consistiu na secagem em estufa a 65°C para a desidratação, logo após o material foi pulverizado em moinho de bolas e passado por uma peneira para uma melhor redução do material obtido. Após esses processos os auxiliares naturais foram acondicionados em recipientes de plástico para posterior aplicação em ensaios de *jar-test* como coadjuvantes.

### **3.3 Preparo das Soluções**

O preparo da solução de sulfato de alumínio consistiu na pesagem de 1g de sulfato de alumínio granular, que ao ser diluído em água, foi transferido a um balão volumétrico de 500 mL e completado o volume com água destilada.

Para as soluções dos auxiliares naturais (pó de quiabo, folha de angico, casca de angico, folha de aroeira, casca de mutamba, casca de de aroeira) foram pesados 0,5g do pó seco e diluído em 250 mL de água em balão volumétrico.

Esses procedimentos resultaram em soluções padrões de 2g/L que foram aplicadas na realização dos ensaios de coagulação/ floculação em equipamento de bancada *jar-test* para a determinação da eficiência e dosagem correta.

### **3.4 Caracterização Físico Química da Água Bruta do Rio Coxipó**

Para realização das análises instrumentais, foram utilizados turbidímetro, medidor de pH e reagentes químicos existentes no laboratório de análise de águas do IFMT campus Bela Vista - MT, além da técnica de análise clássica de volumetria de neutralização, para a determinação de alcalinidade e acidez, volumetria de precipitação para a determinação de cloretos, volumetria de complexação para análise de dureza e volumetria de oxido redução para determinação do oxigênio consumido, de acordo com as especificações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999).

### 3.4.1 Determinação do pH

A análise desse parâmetro, foi utilizado um medidor de pH de bancada marca MARCONI modelo MA-522/MA-522P ilustrado na Figura 2, que após calibrado com solução tampão pH 7 e pH 4 foi feita a leitura das amostras de água bruta e água tratada no *jar-test* (APHA, 1999).



**Figura 2.** Medidor de pH marca MARCONI modelo MA-522/MA 522P

### 3.4.2 Determinação da Turbidez

Para determinação da turbidez foi utilizado turbidímetro marca POLICONTROL modelo AP 2000 conforme ilustra Figura 3, que depois de calibrado com os padrões foi feita a leitura das amostras, tendo resultado expresso em NTU (APHA, 1999):



**Figura 3.** Aparelho de Turbidímetro marca POLICONTROL modelo AP 2000

### 3.4.3 Determinação da Alcalinidade

Para análise de alcalinidade das amostras, foi utilizada a metodologia da titulação por neutralização, por um titulante ácido. Para essa análise foram transferidos 100 mL da amostra de água para 3 erlenmeyers e adicionadas três gotas de Metil Orange como indicador, que ao ser titulada com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,02 N teve a cor de viragem de amarelo para alaranjado, como mostra a Figura 4 (APHA, 1999).

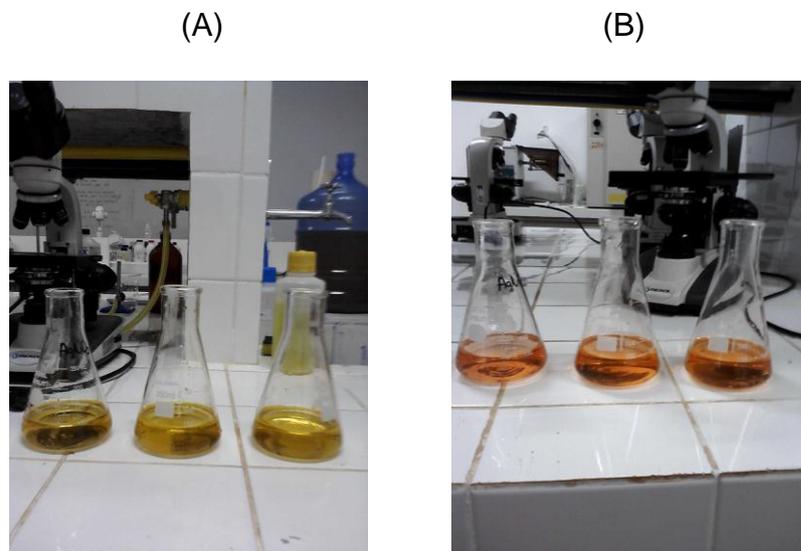
Para o cálculo de alcalinidade aplicou-se a seguinte fórmula aos resultados dos volumes gastos na viragem da titulação:

$$T = A \times 10 = \text{mg.L}^{-1} \text{ de CaCO}_3 \quad (\text{eq.1})$$

Onde:

A= volume gasto para viragem com alaranjado de metila como indicador

T= Alcalinidade

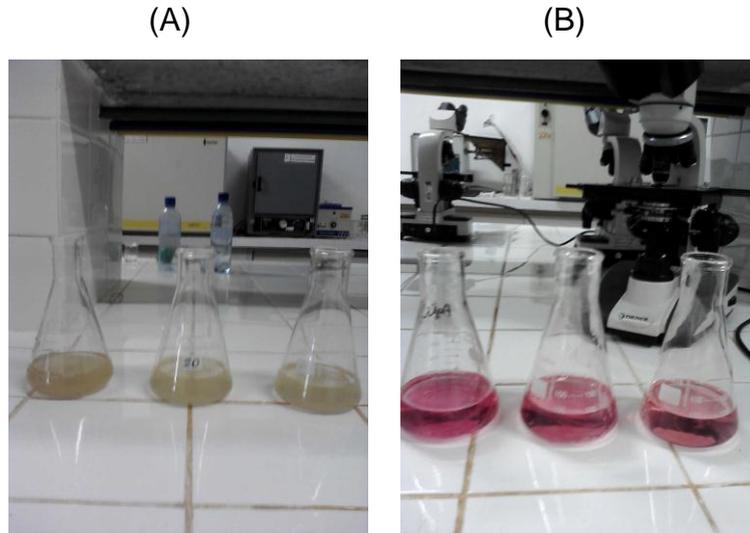


**Figura 4.** Amostras para determinação de alcalinidade: (A) antes da titulação, (B) após a titulação.

### 3.4.4 Determinação da Acidez

Para a determinação da acidez utilizou-se a mesma metodologia da alcalinidade, a titulação por neutralização, titulando-se em triplicata 100 mL de água, porém usando-se como indicador fenolftaleína e NaOH na concentração de 0,02 N

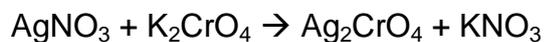
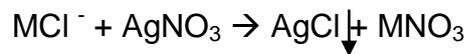
como agente titulante, com a viragem de transparente para rosa, conforme a Figura 5. Como resultado final da acidez calculou-se a média aritmética dos volumes gastos do NaOH expressando o resultado final em  $\text{mg.L}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  (APHA,1999).



**Figura 5.** Amostras para determinação de acidez: (A) Antes da titulação e (B) após a titulação.

### 3.4.5 Determinação de Cloreto

A determinação de cloretos foi feita por titulação por precipitação onde ocorrem as seguintes reações:

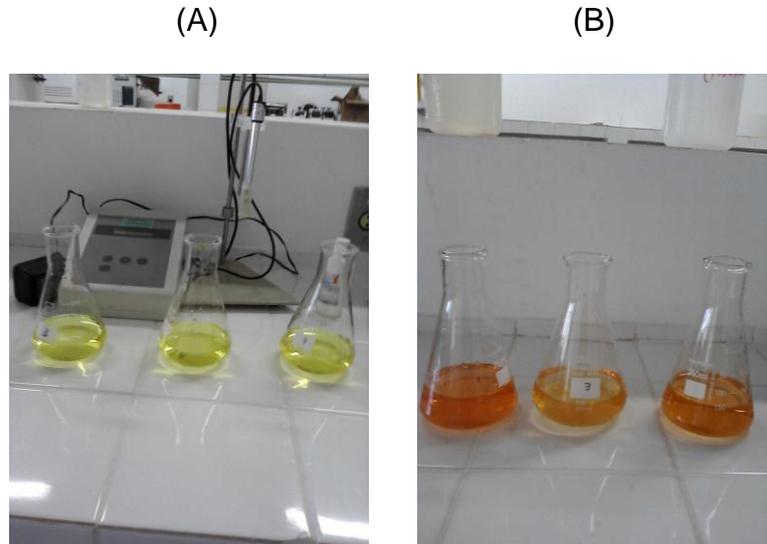


Onde M se refere ao metal ligado ao ânion.

Essa reação tem como princípio a formação de cloretos insolúveis que no caso o  $\text{AgCl}$  (cloreto de prata) e a formação de um complexo colorido o cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ) originado pela reação com o cromato de potássio, sendo esse atuando como indicador na reação.

A determinação de cloreto, consistiu na adição de 100 mL em três erlenmeyers de 250 mL e adicionado 1 mL de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  como indicador, que ao ser

titulado com  $\text{AgNO}_3$  teve a viragem de verde para alaranjado (APHA, 1999), conforme a Figura 6.



**Figura 6.** Amostras para determinação de cloreto: (A) Antes da titulação e (B) Após a titulação.

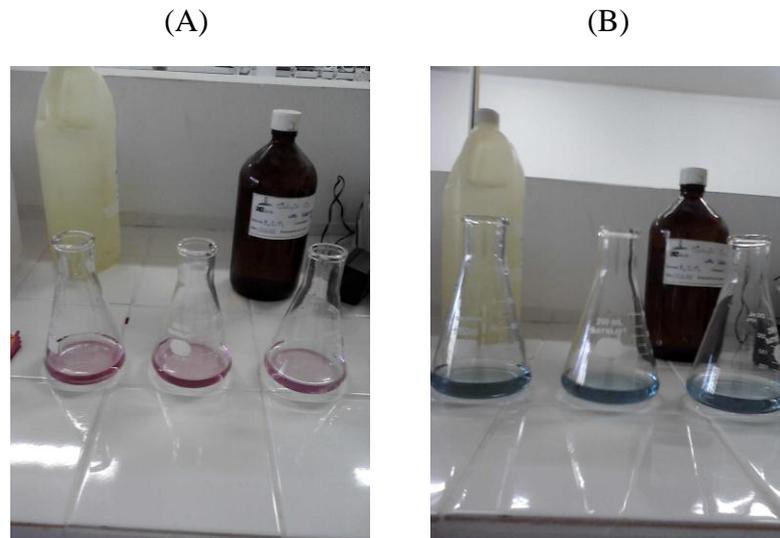
Para a realização do cálculo da concentração de cloretos aplicou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Cl}^- = \bar{x} \cdot \text{VG} \times 4,998 \times \text{Fc AgNO}_3 = \text{mg.L}^{-1} \text{ de Cl}^- \quad (\text{eq.2})$$

#### 3.4.6 Determinação da Dureza Total

Para análise de dureza da água utilizou-se a técnica de análise clássica titulação por complexação, com formação de um complexo colorido entre o analito e o titulante indicando o ponto estequiométrico da reação.

Para a determinação da dureza da água transferiu-se 50 mL de água para três erlenmeyers e feita a adição de 2 mL de solução tampão para dureza. Como indicador utilizou-se uma gota de Negro de Ericromo e tituladas com solução de EDTA 0,01N até viragem de roxo para azul como mostra a Figura 7 (APHA, 1999):



**Figura 7.** Amostras para determinação de dureza: (A) antes da titulação e (B) após a titulação.

Para a realização do cálculo de dureza aplicou-se as seguintes fórmula:

$$DT = \bar{x} \text{ VG} \times 20 \times Fc \text{ EDTA} = \text{mg. L}^{-1} \text{ de CaCO}_3 \quad (\text{eq.3})$$

### 3.4.7 Determinação de Oxigênio Consumido

Esta determinação visa avaliar a quantidade de material redutor presente na água, ou seja, admite fornecer a quantidade de matéria orgânica oxidável na condição imposta. Para essa determinação transferiu-se 100 mL da amostra de água em balão de fundo chato de 250 mL, seguida da adição de 10 mL de solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1:3 e 10 mL de solução de  $\text{KMnO}_4$  0,0125N, após ser levado a chapa de aquecimento e mantido em ebulição por 10 minutos adicionou-se 10 mL de oxalato de amônio 0,0125 N, em seguida foram titulados em triplicatas com solução de permanganato de potássio 0,0125 N conforme a Figura 8 (APHA, 1999).



**Figura 8.** Amostras para determinação de oxigênio consumido: (A) Amostras para análise de oxigênio consumido; (B) amostras após adição de oxalato de amônio, (C) amostras após a titulação com  $\text{KMnO}_4$ .

Para a determinação da concentração de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica da água aplicou-se a seguinte fórmula:

$$\text{OC} = \bar{x} \text{ VG} \times \text{Fc KMnO}_4 = \text{mg.L}^{-1} \text{ O}_2 \quad (\text{eq.4})$$

### 3.5 Determinação da Dosagem Ótima do Coagulante

A etapa de mistura rápida foi realizada em escala laboratorial em equipamento denominado *jar-test* ou reator estático. É um equipamento de bancada utilizado em ensaios de coagulação/floculação, quando bem conduzido os dados obtidos permitem a otimização da clarificação da água. Os resultados obtidos nos ensaios de coagulação têm por objetivo reproduzi-los em estações de tratamento de água. O *jar-test* trata-se de um aparelho dotado de 6 jarros de acrílico com capacidade de aproximadamente 2L cada um e agitação mecânica própria como mostra a Figura 9:



**Figura 9.** Aparelho Jar-test

Os ensaios de coagulação/floculação para determinação da dosagem eficiente do sulfato de alumínio consistiu na adição de 2L de água bruta em cada um dos 6 jarros do aparelho. Em seguida foram adicionadas quantidades diferentes desse coagulante a cada um deles.

A dosagem ótima do coagulante primário ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) utilizado na floculação foi estabelecida através de tentativa e erro, onde por meio da turbidez da água bruta, pôde-se estabelecer a dosagem inicial a ser trabalhada. Esse ensaio consistiu em três fases:

**Mistura rápida:** A mistura rápida consistiu na adição do coagulante no tempo de 1 minuto com uma rotação de 100 rpm;

**Floculação:** enquanto nessa fase segue a floculação com uma redução no movimento das paletas para 45 rpm em uma duração de 15 minutos;

**Decantação:** após a mistura lenta aguardou-se um tempo de 10 minutos de modo que houvesse uma sedimentação dos flocos formados e a possível observação da clarificação da água.

Após esse procedimento, realizou-se as análises de pH e turbidez da água dos 6 jarros verificando se houve ou não clarificação da água bruta. Nos ensaios onde não foram observados coagulação/floculação satisfatórios repetiu-se os ensaios alterando a dosagem do coagulante de forma que se encontrasse a concentração ideal e pH ótimo de floculação.

### 3.6 Ensaio de Coagulação/floculação com Auxiliares de Floculação

Após a determinação da dosagem eficiente de sulfato de alumínio, realizaram-se diversos ensaios com coadjuvantes naturais entre os quais: o pó de quiabo, casca de aroeira, folha de aroeira, casca de angico, folha de angico, casca de mutamba.

Esses auxiliares foram trabalhados nas seguintes concentrações nos jarros: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 ppm respectivamente, aplicados em cada jarro uma dosagem diferente dos mesmos após a mistura rápida (1 minuto) mantendo-se a velocidade de floculação de 45 rpm e tempo de floculação de 15 minutos.

### 3.7 Determinação da Eficiência da Redução de Turbidez da Água

Após a realização de cada ensaio, os dados referentes ao pH e turbidez foram tabelados e calculadas as eficiências da redução da turbidez, baseado na seguinte fórmula:

$$\%E_{RT} = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100 \quad (\text{eq.5})$$

$\%E_{RT}$  = Eficiência da redução da turbidez

$T_i$  = Turbidez inicial

$T_f$  = Turbidez final

Através desse resultado expresso em porcentagem pode-se determinar a eficiência e dosagem do coagulante e dos auxiliares para uma boa floculação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Parâmetros Físico-químicos da Água Bruta do Rio Coxipó em Período de Seca e de cheia.

Antes da realização dos ensaios de *jar-test*, foi feita a caracterização físico-químico da água bruta proveniente da fonte em questão nos períodos de seca e chuva, onde foram determinados: pH, turbidez, alcalinidade, acidez, cloreto, dureza e oxigênio consumido, dados presentes na Tabela 2.

**Tabela 2.** Características físico-químicas da água do rio Coxipó na estação de seca e chuvosa.

PARÂMETRO	ESTAÇÃO DE SECA	ESTAÇÃO CHUVOSA
pH	6,62	6,79
Turbidez	6,76 NTU	130 NTU
Alcalinidade	16,3 mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	19,6 mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>
Acidez	0,5.mg.L <sup>-1</sup> de CO <sub>2</sub>	0,73 mg.L <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>
Cloreto	4,51 mg.L <sup>-1</sup> Cl <sup>-</sup>	5,91 mg.L <sup>-1</sup> Cl <sup>-</sup>
Dureza Total	12,6 mg.L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub>	25,33 mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>
Oxigênio Consumido	6,30 mg.L <sup>-1</sup> de O <sub>2</sub>	7,55 mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>

De acordo com Silvino (2008), os rios no Estado de Mato Grosso são classificados como rios de classe 2. Sendo assim, o pH nos dois períodos enquadram com valores estabelecidos para água doce de classe 2, onde a legislação estabelece valor de pH na faixa de 6,0 a 9,0 (BRASIL, 2005).

A turbidez apresentou-se dentro do limite para essa categoria de água no período de seca, no entanto, na chuva esse valor se encontra acima do estabelecido pela legislação vigente que determina valor de até 100NTU. O resultado de cloreto também esteve em conformidade onde o valor máximo permitido é de 250 mg.L<sup>-1</sup> (BRASIL, 2005).

A alcalinidade esteve de acordo com valores definidos para águas naturais (30 a 500 mgL<sup>-1</sup>) e indica que se deve exclusivamente a bicarbonatos estando o pH na faixa de 4,4 a 8,3, enquanto a acidez tem sua origem carbônica, estando o seu pH na faixa de 4,5 a 8,2 (BRASIL,2006).

No caso da dureza, trata-se de água mole ou branda encontrando-se em concentração inferior a 50 mg.L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> (BRASIL, 2006). O aumento dessa concentração no período de cheia ocorre devido a uma maior concentração de *íon cálcio e magnésio*, carreado de material lixiviado nos leitos dos rios ocorrida por uma maior frequência de chuva (CRUZ, *et.al.*, 2009).

No período de cheia todos os parâmetros trabalhados apresentaram seus valores superiores ao do período de seca, onde a elevada turbidez nesse período se deve ao arraste de sólidos da área de drenagem até as margens (SILVINO, 2008).

A avaliação do oxigênio consumido na água está vinculada à presença de contaminantes antrópicos, onde muitos desses irão consumir o oxigênio presente na sua biodegradação ou devido à oxidação química. Dentre os padrões de potabilidade da água, nenhum faz menção direta ao oxigênio consumido na água. Segundo Percebon (2008), a cor e a turbidez possuem uma correlação com a matéria orgânica ou substâncias consumidoras de oxigênio, e a chuva promove um aumento no valor de oxigênio consumido devido ao carreamento de resíduos orgânicos, principalmente, os presentes no solo, o que justifica seu maior resultado nesse período.

#### **4.2 Dosagem Ótima do Coagulante**

Para definição da dosagem ótima do coagulante em período de seca foram efetuados quatro ensaios de coagulação/floculação, totalizando de 5 a 6 jarros por ensaios, como mostra a Tabela 3:

**Tabela 3.** Ensaios de coagulação/floculação para determinação da dosagem ótima de sulfato de alumínio em período de seca.

Série de ensaios	Dosagem do coagulante (ppm)	pH Final	Turbidez Final ( NTU)	% Remoção da Turbidez
1º	6	7,08	4,40	34,91
	8	6,85	6,96	-
	10	6,62	7,04	-
	12	6,40	6,69	-
	14	6,20	5,81	14,05
	16	6,14	6,99	-
2º	8	7,09	2,57	6,98
	10	7,22	2,45	63,75
	12	6,88	5,27	22,04
	14	6,49	5,45	19,37
	16	6,28	5,86	13,31
	18	6,01	5,78	14,49
3º	3	6,60	7,04	-
	5	6,61	4,43	34,46
	<b>7</b>	<b>6,61</b>	<b>3,44</b>	<b>49,11</b>
	9	6,60	3,69	45,41
	11	6,62	6,70	0,88
4º	23	5,55	8,96	-
	25	5,27	3,62	46,44
	27	5,02	3,49	48,37
	29	4,93	3,36	50,30
	31	4,86	4,22	37,57

Os ensaios realizados nesse período demonstraram que a dosagem ideal de sulfato de alumínio para uma boa coagulação/floculação é de 7 ppm, uma vez que houve uma redução de turbidez significativa da água bruta, de 6,76 NTU para 3,44 NTU(49,11%), com uma baixa concentração do coagulante dosado e com pH ótimo de floculação de 6,61, dentro da faixa de pH desse coagulante 5,0 a 8,0 (SILVA,1999).

Lima (2007) ressalta que as águas de baixa turbidez apresentam maior dificuldade para coagular, apresentando também como inconveniente redução do pH de floculação fora da faixa apropriada do coagulante, caso aplicado em excesso, como ocorreu no 4º ensaio.

Para determinação da dosagem ideal do coagulante em estação chuvosa foi feito um ensaio com total de 6 jarros com dosagem ótima de 21 ppm apresentando

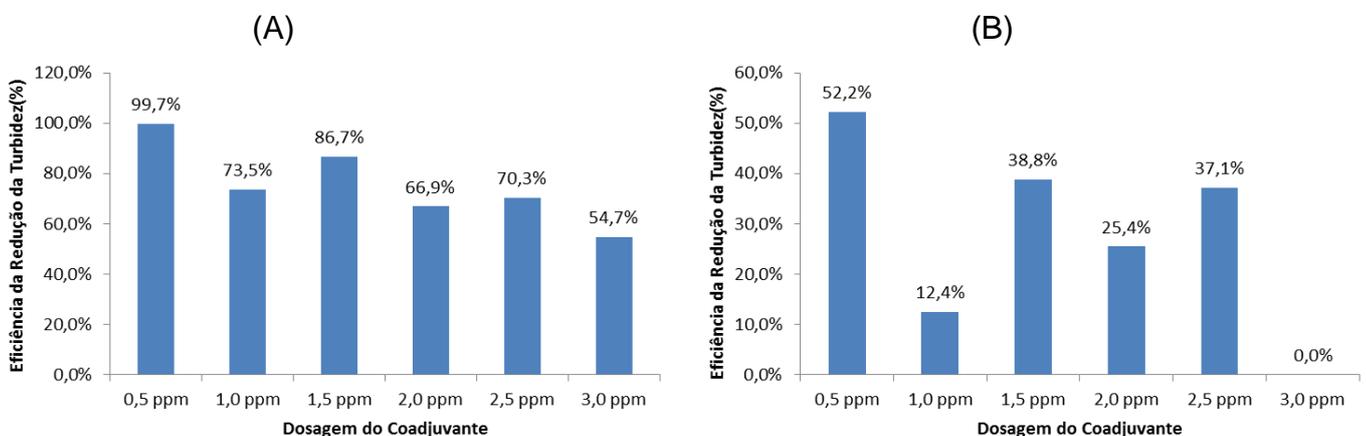
redução de turbidez para 9,44 NTU (92,74% de eficiência) e pH ótimo de floculação de 5,99, dentro da faixa de pH para o coagulante aplicado. Segundo Silva (1999), quanto maior o índice de turbidez, maior a dosagem de sulfato de alumínio, conforme a Tabela 4:

**Tabela 4.** Ensaio de coagulação/floculação para determinação da dosagem ótima de sulfato de alumínio em período cheia.

Dosagem do coagulante (ppm)	pH final	Turbidez Final (NTU)	% Remoção da Turbidez
17	6,18	49,45	61,96
19	6,07	21,95	83,12
<b>21</b>	<b>5,99</b>	<b>9,44</b>	<b>92,74</b>
23	5,85	17,96	86,18
25	5,68	30,15	76,81
27	5,56	59,00	54,62

### 4.3 Testes de Redução do consumo de Sulfato de Alumínio

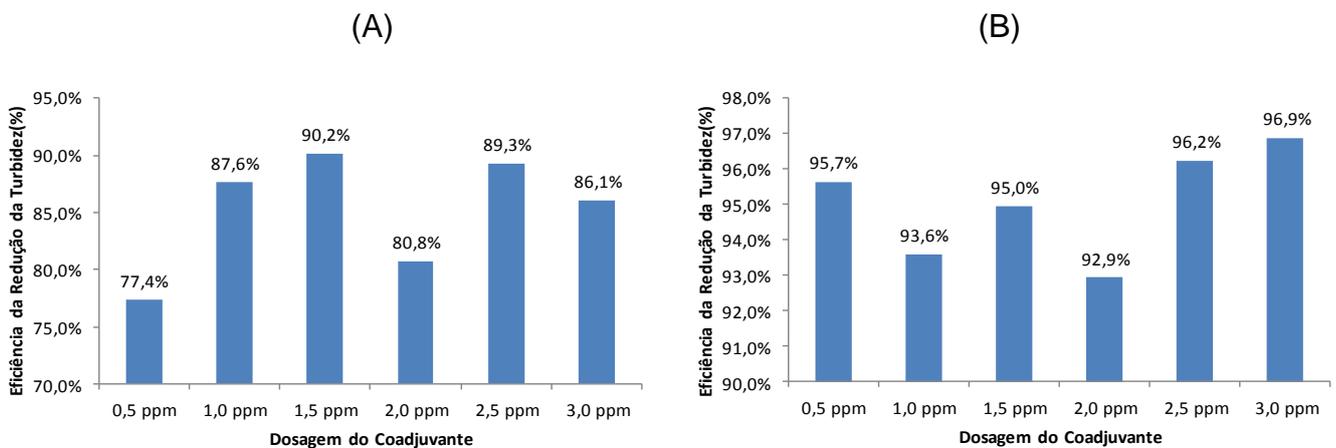
Após a determinação da dosagem eficiente do coagulante primário, foram aplicados os polímeros naturais nos ensaios. A fim de promover maior economia e teste de viabilidade, realizaram-se os ensaios com os auxiliares com a dosagem de 5 ppm de sulfato de alumínio no período de seca. Porém, os resultados obtidos com essa dosagem foram insatisfatórios, apresentando menor redução de turbidez comparada à dosagem de 7 ppm, como mostra a Figura 10 referente ao pó de quiabo como auxiliar de floculação:



**Figura 10.** Eficiência da redução da turbidez em função da concentração da solução de pó de quiabo em período de seca: (A) 7 ppm de sulfato de alumínio e (B) 5 ppm de sulfato de alumínio.

Essa menor eficiência com a concentração de 5 ppm do coagulante pode ter ocorrido por não haver uma relação ideal entre a dosagem do coagulante com os auxiliares, promovendo menor diminuição da turbidez. Lima (2007) afirma que a dosagem ótima dos polímeros é proporcional à concentração de partículas coloidais, esses, desestabilizam as partículas quando em dosagem apropriada. Caso contrário em dosagem superior ou inferior, o polímero poderá se unir aos coloides e não produzir a desestabilização.

No período de chuva a adição dos auxiliares de floculação permitiu reduzir o consumo de sulfato de alumínio em 3ppm. A concentração ótima (21ppm) conjunta aos coadjuvantes foi menos eficiente comparado a 18ppm (Figura 11), a concentração de 21 ppm pode ter tornado o sistema com excesso de carga do coagulante, concentrações muito elevada do coagulante pode carregar positivamente as partículas coloidais resultando em um sistema mal coagulado devido excesso do coagulante metálico. (LIMA, 2007).



**Figura 11.** Eficiência de redução da turbidez em função da concentração da solução de pó quiabo: Em período de cheia:(A) 21 ppm de sulfato de alumínio e (B) 18 ppm de sulfato de alumínio

Com isso, na estação de seca o uso dos auxiliares de floculação foi essencial para aperfeiçoar a coagulação química pela dosagem ótima estabelecida, enquanto que no período de cheia esse aperfeiçoamento foi associado a uma redução no consumo de sulfato de alumínio. Esse resultado é concordante com Lima (2007), que afirma que os polímeros naturais usados em conjunto com o sulfato de alumínio podem reduzir a dosagem deste coagulante metálico possibilitando menores concentrações de alumínio residual na água tratada. Bathista, *et al.*,(2001)(a) ainda destaca que devido as suas características estruturais os polieletrólitos promovem

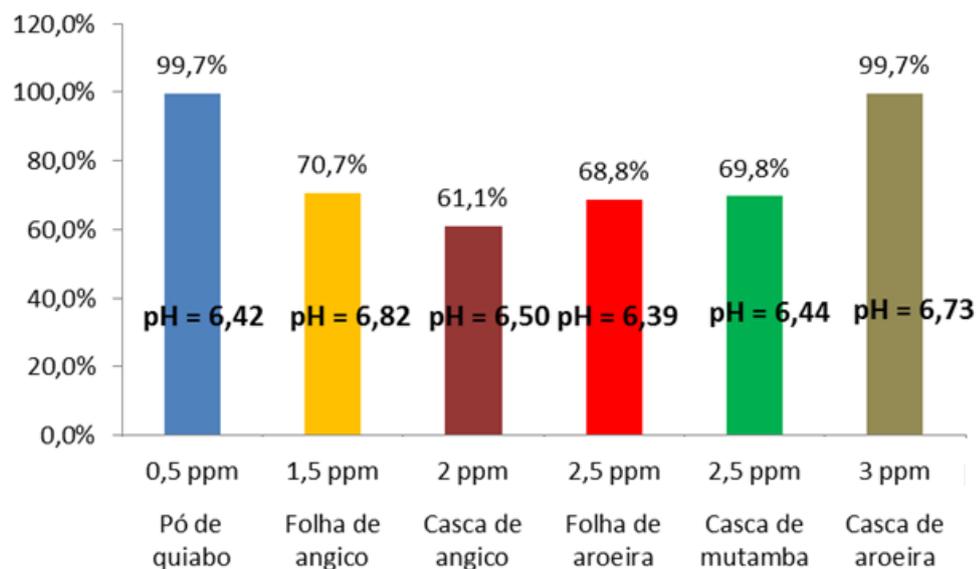
uma maior adsorção de partículas permitindo uma maior dimensão dos flocos e veloz sedimentação.

Essa diminuição no consumo de coagulante pela utilização de coadjuvantes de floculação já foi observado por outros autores, como estudo realizado por Grossi, *et.,al* (2009), comprovando que a utilização de auxiliares de floculação naturais é uma ótima alternativa para reduzir as dosagens de coagulantes, tornando a água mais límpida.

#### 4.4 Redução da Turbidez e Variação do pH

Após a realização de uma série de ensaios com polieletrólitos naturais, a dosagem ideal de cada coadjuvante referente à redução da turbidez e a concentração ótima foram representadas nas Figuras 12 e 13.

No período de seca a aplicabilidade da solução de pó de quiabo (0,5ppm) e casca de aroeira (3ppm) como auxiliares a dosagem de sulfato de alumínio (7ppm) promoveu um aumento de eficiência para 99,7% na redução da turbidez. Porém, o pó de quiabo foi mais eficiente como coadjuvante em relação à casca de aroeira constatado pela dosagem (Figura 12).

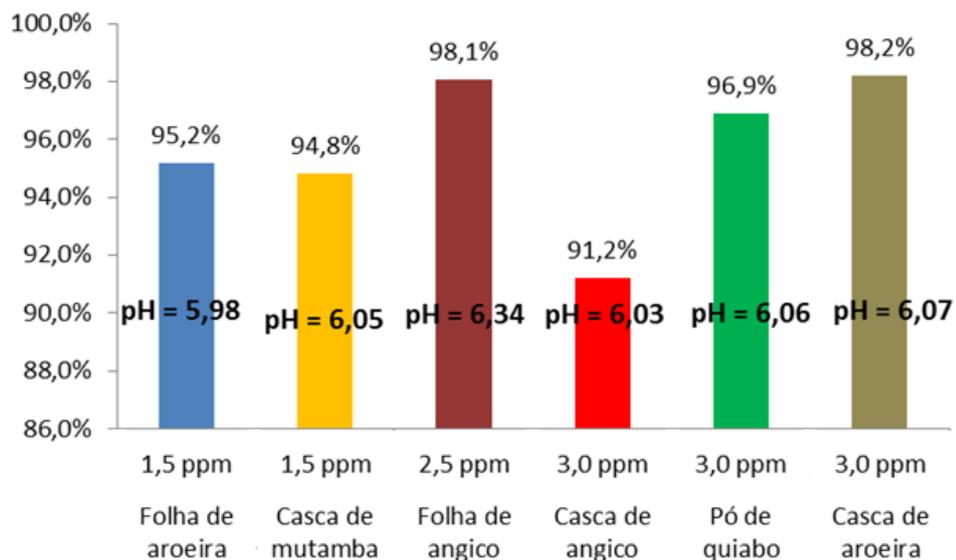


**Figura 12.** Eficiência da redução da turbidez em função da concentração dos auxiliares de floculação em período de seca

Diante disso percebeu-se que os polieletrólitos naturais proporcionaram uma melhor clarificação comparada ao uso individual do sulfato de alumínio. Borba (2001) afirma que para água de baixa turbidez, às vezes, é conveniente usar coagulante convencional consorciado a um polímero natural ou sintético. Esse fato confere a água flocos mais pesados e com maior capacidade de decantação.

Resultado coincidente foi encontrado por Costa, (2010), constatando que coagulantes e polímeros corretamente aplicados poderiam levar a resultados melhores na qualidade da água tratada se comparado ao uso apenas de sulfato de alumínio.

Na estação chuvosa, a eficiência da redução de turbidez foi superior ao período de estiagem e com dosagem do coagulante abaixo do ideal como mostra a Figura 13.



**Figura 13.** Eficiência da redução da turbidez em função da concentração dos auxiliares de floculação em período de cheia

Para os ensaios de coagulação/floculação conduzido nesse periodo, os resultados mais significativos de cada auxiliar demonstraram eficiência da remoção de turbidez acima de 90%. Os menores valores de turbidez foram obtidos com a casca de aroeira, que reduziu a turbidez em 2,33 NTU (98,2% de eficiência) a uma concentração de 3 ppm, enquanto que a menor eficiência obtida foi com a casca de angico, que promoveu diminuição da turbidez para 11,42 NTU(91,22%) na mesma

concentração. Essa diferença na dosagem e eficiência ocorre pelo fato de cada tipo de polímero apresentar uma condição ótima de aplicação que depende da qualidade da água bruta, do tipo de polímero, das condições de mistura rápida, floculação e sedimentação (DI BERNARDO e DI BERNARDO, 2000).

Nas condições estudadas as associações dos polímeros naturais com sulfato de alumínio influenciaram positivamente na remoção de turbidez estando esses de acordo com o estabelecido pela Portaria 2914/11 na estação de seca cujo o valor máximo permitido é de 5 NTU. No entanto, na estação chuvosa muitos ensaios não tiveram concordância com a legislação como nos ensaios com a folha de aroeira (6,26 NTU), casca de mutamba (6,74NTU) e casca de angico (11,42 NTU), muito embora, esses ensaios proporcionaram ótima eficiência, os ensaios de coagulação foram em turbidez superior ao do período de seca

Quanto ao pH, a água em alguns ensaios sofreu uma redução expressiva enquanto em outros promoveram aumento comparado ao pH da água bruta.

Na estação de seca essa redução de pH foi mínima onde o pH inicial se apresentava em 6,62, a concentração de sulfato de alumínio aplicado foi menor comparado ao período de cheia. Com os auxiliares de floculação o valor mínimo de pH obtido foi de 6,39 com a folha aroeira e máxima de 6,82 com folha de angico.

Variação brusca de pH foi observado no período de chuva, onde o pH da água *in natura* se apresentava em 6,79. A coagulação/floculação com auxiliares o pH mínimo obtido foi de 5,98 com a folha de aroeira e máxima de 6,34 com folha de angico.

Devido à elevada turbidez, nos ensaios de coagulação na estação de cheia utilizou-se uma concentração mais elevada de sulfato de alumínio um sal de caráter ácido que atua neutralizando a alcalinidade e promovendo redução do pH, justificando a sua variação excessiva (CORAL, *et al.*; 2009). Apesar disso esses valores apresentaram-se acima do pH obtido com a dosagem ideal de sulfato de alumínio (5,99).

Wesller, *et al.*, (2003) ainda destaca que essa menor variação comparada ao coagulante individual é de extrema importância, tendo em vista que a água não precisará de muito alcalinizante no ajuste do pH. Além disso, por se tratarem de moléculas biodegradáveis os polímeros não consomem a alcalinidade do meio.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na estação de seca o pó de quiabo demonstrou melhor eficiência na remoção de turbidez enquanto que no período de cheia a casca de aroeira foi mais eficiente como coadjuvante, embora os demais auxiliares tenham contribuído significativamente na remoção da turbidez.

A clarificação da água com o uso de auxiliares de floculação foi mais eficiente comparada ao uso individual do sulfato de alumínio com redução expressiva da turbidez.

Na estação seca, os polímeros naturais permitiram melhorar o processo de coagulação/floculação pela dosagem ideal já estabelecida do coagulante, enquanto no período de cheia esse aumento de eficiência foi associado a uma redução do consumo do sulfato de alumínio.

A aplicação dos coadjuvantes naturais permitem minimizar as dificuldades no ajuste de pH. Possibilitam também a redução de gastos totais com coagulantes químicos devido a diminuição em seu consumo e a melhoria da qualidade da água tratada proporcionada pela sua utilização.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

Como continuidade deste trabalho recomenda-se explorar a combinação desses auxiliares naturais com outros coagulantes (sulfato ferroso, cloreto férrico, aluminato de sódio entre outros), avaliando além da concentração as condições de tempo de floculação e gradiente de floculação.

A realização da análise de outras variáveis físico-químicas e também bacteriológicas da água tratada com esses auxiliares verificando conformidade com o padrão de potabilidade.

A identificação da composição qualitativa destes materiais para determinação das moléculas ativas como coagulantes.

## 7. REFERÊNCIAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, New York: American Public Health Association, 1999.

ARANTES, C.C. **Utilização de coagulantes naturais á base de semente de Moringa oleífera e tanino como auxiliares de filtração em mantas não tecidas**. [Campinas]. 2010. Dissertação – Faculdade de Engenharia civil e arquitetura e urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2010.

AZEVEDO NETTO, J.M. **Técnicas de abastecimento de água**. Volume 2 tratamento de água. CETESB/ASCETESB. SÃO PAULO 1987.

BATHISTA, A. L. B. S; TAVARES, M. I. B; 1SILVA, E. O; NOGUEIRA, J. S. **Estudo Dos Componentes do quiabo Por RMN De  $^1\text{H}$  E  $^{13}\text{C}$** . VIII encontro de usuário de MN, Rio de Janeiro, 2001 a, p1-2.

BATHISTA, A. L. B. S., TAVARES, M. I. B., SILVA, E. O., NOGUEIRA, J. S. **Aplicações de polímero natural no tratamento de águas: baba do quiabo**. Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, 2001 b.

BORBA, R.L. **Viabilidade do USO de moringa oleífera LAM no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. [João Pessoa]. 2001. Dissertação- Centro de Ciências Exatas e da natureza- Universidade Federal da Paraíba, 2001.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE - Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências**.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357** de 17 de fevereiro de 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

CARVALHO, Maria José Herkenhoff. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**, 154 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá 2008.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Série Relatórios. **Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. São Paulo, 2008.

CORAL, A.L; BERGAMASCO, R; BASSETI, J.F. **Estudo da viabilidade da utilização de polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo.** International workshop Advances In Cleaner Production. São Paulo, Brasil, 2009.

COSTA, H.R.E. **Melhoria da qualidade da água tratada e aumento da capacidade de ETAS através da escolha adequada de coagulantes e auxiliares, em águas com alcalinidade alta (estudo de caso).** I simpósio ambiental da universidade tecnológica federal do Paraná, Campo Mourão, 2010.

CRUZ,P; REIS,R; BARROS,A; NEVES,J;CÂMARA,f. **Estudo Comparativo da Qualidade Físico- química da água no Período Chuvoso e Seco Na Confluência dos Rios Poti e Parnaíba em Teresina/Pi.** II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, João Pessoa –PB. 2009. P 1-6.

DI BERNARDO, S.A; DI BERNARDO. L. **Uso de amido de mandioca catiônica como auxiliar de floculação.** XXVII congresso interamericano de engenharia sanitária e ambiental ABES São Carlos-SP, 2000.

GROSSI, K; TOMAZZONI, G; SANTOS, R.H. **Amido de batata como auxiliar de floculação no tratamento de águas para abastecimento.** VII semana de Engenharia Ambiental, Unicentro, 2009.p. 1-7.

LIMA, A.G.J. **Uso de Polímero Natural do Quiabo como Auxiliar de floculação e Filtração em Tratamento de Água e Esgoto.** [Rio de Janeiro]. 2007. Dissertação – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.

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

PERCEBON,M.C. **Influência de processos naturais do Meio físico e das atividades antrópicas na qualidade das águas subterrâneas de Blumenau-SC.** 2008. 215 f. Tese( Doutorado em Geologia). Setor de ciências da terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PORTELA, B.R; LEMOS, A.D; RESENDE,M,M. **Tratamento de águas de fontes naturais .** Diretoria de Pesquisa, Comissão Institucional de Iniciação Científica. Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

SANTOS, E. P. C. C.: **Coagulação da Água da Represa de Vargem das Flores Visando Tratamento por Filtração Direta.** Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, 2004.

SANTOS, Z.T; ZARA, F.R; LOBO, S.V; WEBER, V; SHEIDT, F.W; DOTTO, F. **Estudo da utilização de floculantes alternativos e naturais em tratamento de**

**água.** Encontro de divulgação científica e tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2010. P. 1-4.

SILVA, J. GOMES, L.P.; DECUSATI, O; LAMB, L.H. **Aplicação de floculante vegetal no tratamento de águas IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental.** Porto Alegre, RS. Porto Alegre, ABES-RS, 2004.

SILVA, S.S.T. **Estudo de tratabilidade físico- química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto,** 87 f.[Rio de Janeiro]. 1999. Dissertação- Fundação Osvaldo Cruz.

SILVINO, O.N.A. **Avaliação e modelagem da qualidade da água da bacia do Rio Coxipó, no município de Cuiabá-MT.** 173 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, programa de pós-graduação em Física Ambiental Cuiabá,2008.

SPINELLI, V.A; SENS, M.L; MAURICIO, L.F.V.T. **Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável.** ABES Rio de Janeiro, 2001.

WESLLER, A.R; AMORIM, S; CAVALLI, V. **Estudo da viabilidade técnica e econômica da utilização de polímero orgânico natural catiônico em substituição ao sulfato de alumínio convencionalmente utilizados nas estações de tratamento de água (ETA's).** Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Blumenau (SEMAE), 2003.

## 8. APÊNDICE

### APÊNDICE A- ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO NATURAIS EM PERÍODO DE SECA

**Tabela A.1.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com pó de quiabo como auxiliar de floculação, na concentração de 7 ppm de sulfato de alumínio.

Dosagem de $Al_2(SO_4)_3$	Dosagem de coadjuvante	pH final	Turbidez final	% Redução da Turbidez
7ppm	0,5 ppm	6,42	0,02	99,70%
7ppm	1,0 ppm	6,53	1,79	73,52%
7ppm	1,5ppm	6,60	0,90	86,69%
7ppm	2,0ppm	6,67	2,24	66,86%
7ppm	2,5ppm	6,66	2,01	70,27%
7ppm	3,0ppm	6,57	3,06	54,73%

**Tabela A.2.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com pó de quiabo como auxiliar de floculação, na concentração de 5 ppm de sulfato de alumínio.

Dosagem de $Al_2(SO_4)_3$	Dosagem de coadjuvante	pH final	Turbidez final	% Redução da turbidez
5ppm	0,5 ppm	5,65	3,23	52,22%
5ppm	1,0 ppm	5,97	5,92	12,43%
5ppm	1,5 ppm	6,17	4,14	38,76%
5ppm	2,0 ppm	6,28	5,04	25,44%
5ppm	2,5 ppm	6,38	4,25	37,13%
5ppm	3,0 ppm	6,37	8,75	-

**Tabela A.3.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de aroeira como auxiliar de floculação, na concentração de 5 ppm de sulfato de alumínio.

Dosagem de $Al_2(SO_4)_3$	Dosagem de coadjuvante	pH final	Turbidez final	%Redução da turbidez
5 ppm	0,5 ppm	3,07	6,26	7,40%
5ppm	1,0 ppm	2,01	6,44	4,73%
5ppm	1,5 ppm	2,60	6,43	4,88%
5ppm	2,0 ppm	2,44	6,57	2,80%
5ppm	2,5 ppm	2,41	6,69	1,04%
5ppm	3,0 ppm	2,64	6,68	8%

**Tabela A.4.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de aroeira como auxiliar de floculação, na concentração de 7 ppm de sulfato de alumínio.

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
7ppm	0,5 ppm	6,32	2,62	61,24%
7ppm	1,0 ppm	6,44	2,28	66,27%
7ppm	1,5ppm	6,48	1,81	73,22%
7ppm	2,0 ppm	6,64	2,60	61,54%
7ppm	2,5 ppm	6,76	2,13	68,49%
7ppm	3,0 ppm	6,73	0,02	99,70%

**Tabela A.5.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de angico como auxiliar de floculação, na concentração de 7 ppm de sulfato de alumínio.

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da turbidez</b>
7ppm	0,5 ppm	6,18	3,47	48,67%
7ppm	1,0 ppm	6,27	3,04	55,03%
7ppm	1,5 ppm	6,36	3,68	45,56%
7ppm	2,0 ppm	6,50	2,63	61,09%
7ppm	2,5 ppm	6,51	3,22	52,36%
7ppm	3,0 ppm	6,51	3,84	43,20%

**Tabela A.6.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de angico como auxiliar de floculação, na concentração de 5 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>%Redução da turbidez</b>
5ppm	0,5ppm	6,15	3,60	46,75%
5ppm	1,0 ppm	6,43	3,65	46%
5ppm	1,5 ppm	6,61	3,11	53,99%
5ppm	2,0 ppm	6,61	3,88	42,60%
5ppm	2,5 ppm	6,81	2,53	62,57%
5ppm	3,0 ppm	6,80	10,90	-

**Tabela A.7.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com folha de angico como auxiliar de floculação, na concentração de 7 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da turbidez</b>
7ppm	0,5 ppm	6,73	2,20	67,45%
7ppm	1,0 ppm	6,76	2,32	65,68%
7ppm	1,5 ppm	6,82	1,98	70,71%
7ppm	2,0 ppm	6,73	2,15	68,20%
7ppm	2,5 ppm	6,62	2,90	57,10%
7ppm	3,0 ppm	6,49	3,54	47,63%

**Tabela A.8.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com folha de aroeira como auxiliar de floculação, na concentração de 7 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
7ppm	0,5 ppm	6,33	4,24	37,27%
7ppm	1,0 ppm	6,34	3,18	52,96%
7ppm	1,5 ppm	6,39	2,81	58,43%
7ppm	2,0 ppm	6,43	2,27	66,42%
7ppm	2,5 ppm	6,39	2,11	68,79%
7ppm	3,0 ppm	6,34	2,15	68,19%

**Tabela A.9.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de mutamba como auxiliar de floculação, na concentração de 7 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
7ppm	0,5 ppm	6,23	3,82	43,49%
7ppm	1,0 ppm	6,19	3,88	42,60%
7ppm	1,5 ppm	6,23	3,42	49,41%
7ppm	2,0 ppm	6,43	2,16	68,05%
7ppm	2,5 ppm	6,44	2,04	69,82%
7ppm	3,0 ppm	6,44	2,36	65,08%

## APENDICE B – ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO NATURAIS EM PERÍODO DE CHEIA.

**Tabela B.1.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com pó de quiabo como auxiliar de floculação, na concentração de 21 ppm de sulfato de alumínio

Dosagem de $Al_2(SO_4)_3$	Dosagem de coadjuvante	pH final	Turbidez final	% Redução da Turbidez
21 ppm	0,5 ppm	5,98	29,37	77,41%
21 ppm	1,0 ppm	6,02	16,09	87,62%
21 ppm	1,5 ppm	6,06	12,78	90,17%
21 ppm	2,0 ppm	5,92	25	80,77%
21 ppm	2,5 ppm	5,83	13,86	89,33%
21 ppm	3,0 ppm	5,93	18,09	86,08%

**Tabela B.2.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com pó de quiabo como auxiliar de floculação, na concentração de 20 ppm de sulfato de alumínio

Dosagem de $Al_2(SO_4)_3$	Dosagem de coadjuvante	pH final	Turbidez final	% Redução da Turbidez
20 ppm	0,5 ppm	5,83	13,92	89,29%
20 ppm	1,0 ppm	5,81	12,16	90,65%
20 ppm	1,5 ppm	5,73	8,39	93,55%
20 ppm	2,0 ppm	5,77	14,12	89,14%
20 ppm	2,5 ppm	5,85	4,67	96,41%
20 ppm	3,0 ppm	5,84	4,65	96,43%

**Tabela B.3.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com pó de quiabo como auxiliar de floculação, na concentração de 18 ppm de sulfato de alumínio

Dosagem de $Al_2(SO_4)_3$	Dosagem de coadjuvante	pH final	Turbidez final	% Redução da Turbidez
18 ppm	0,5 ppm	5,91	18,09	86,08%
18 ppm	1,0 ppm	6,12	12,84	90,51%
18 ppm	1,5 ppm	6,03	6,36	95,11%
18 ppm	2,0 ppm	6,05	4,43	92,59%
18 ppm	2,5 ppm	6,15	4,23	96,75%
18 ppm	3,0 ppm	6,18	2,33	98,21%

**Tabela B.4.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de mutamba como auxiliar de floculação, na concentração de 18 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
18 ppm	0,5 ppm	6,18	11,89	90,85%
18 ppm	1,0 ppm	6,12	12,32	90,52%
18 ppm	1,5 ppm	6,05	6,74	94,82%
18 ppm	2,0 ppm	6,04	9,14	92,97%
18 ppm	2,5 ppm	6,05	7,19	94,47%
18 ppm	3,0 ppm	6,04	8,88	93,17%

**Tabela B.5.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de aroeira como auxiliar de floculação, na concentração de 18 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
18 ppm	0,5 ppm	5,91	18,09	86,08%
18 ppm	1,0 ppm	6,12	12,84	90,51%
18 ppm	1,5 ppm	6,03	6,36	95,11%
18 ppm	2,0 ppm	6,05	4,43	92,59%
18 ppm	2,5 ppm	6,15	4,23	96,75%
18 ppm	3,0 ppm	6,18	2,33	98,21%

**Tabela B.6.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com casca de angico como auxiliar de floculação, na concentração de 18 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>Turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
18 ppm	0,5 ppm	5,99	14,62	88,75%
18 ppm	1,0 ppm	5,95	22,67	82,56%
18 ppm	1,5 ppm	5,96	15,6	88,00%
18 ppm	2,0 ppm	5,93	13,96	89,26%
18 ppm	2,5 ppm	6,04	12,99	90,00%
18 ppm	3,0 ppm	6,03	11,42	91,22%

**Tabela B.7.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com folha de angico como auxiliar de floculação, na concentração de 18 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
18 ppm	0,5 ppm	6,87	6,34	95,12%
18 ppm	1,0 ppm	6,87	5,81	95,53%
18 ppm	1,5 ppm	6,84	5,51	95,76%
18 ppm	2,0 ppm	7,06	4,60	96,46%
18 ppm	2,5 ppm	6,34	2,52	98,06%
18 ppm	3,0 ppm	6,38	3,04	97,76%

**Tabela B.8.** Resultado ensaio de coagulação/floculação com folha de aroeira como auxiliar de floculação, na concentração de 18 ppm de sulfato de alumínio

<b>Dosagem de <math>Al_2(SO_4)_3</math></b>	<b>Dosagem de coadjuvante</b>	<b>pH final</b>	<b>turbidez final</b>	<b>% Redução da Turbidez</b>
18 ppm	0,5 ppm	6,15	10,51	91,92%
18 ppm	1,0 ppm	6,11	11,29	91,32%
18 ppm	1,5 ppm	6,04	6,26	95,18%
18 ppm	2,0 ppm	5,95	7,47	94,25%
18 ppm	2,5 ppm	5,98	6,12	94,68%
18 ppm	3,0 ppm	6,08	10,85	91,65%

## 9. ANEXOS

### ANEXO A - RELAÇÃO DE DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMÍNIO COM A TURBIDEZ DA ÁGUA BRUTA UTILIZADA COMO BASE NA PESQUISA.

TURBIDEZ	DOSAGEM DE SULFATO DE ALUMINIO EM PPM		
	MINIMA	MÁXIMA	MÉDIA
10	5	17	10
15	8	20	14
20	11	22	17
40	13	25	19
60	14	28	21
80	15	30	22
100	16	32	24
150	18	37	27
200	19	42	30
300	21	51	36
400	22	62	39
500	23	70	42

Fonte: AZEVEDO, 1987