



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

JULIANE DA SILVA E SILVA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS COMO AUXILIARES DE
FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS**

**BELÉM
2012**

JULIANE DA SILVA E SILVA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS COMO AUXILIARES DE
FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Desenvolvimento de Processos

ORIENTADOR: Prof. Dr. Denilson Luz da Silva

BELÉM

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Silva, Juliane da Silva e, 1984-
Estudo da utilização de polímeros naturais
como auxiliares de floculação no tratamento de
água para fins industriais / Juliane da Silva e
Silva. - 2012.

Orientador: Denilson Luz da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Química, Belém,
2012.

1. Água- purificação. 2. Biopolímeros. 3.
Coagulação. 4. Floculação. I. Título.

CDD 22. ed. 628.1622

JULIANE DA SILVA E SILVA

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE POLÍMEROS NATURAIS COMO AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA FINS INDUSTRIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos

DATA DA AVALIAÇÃO: 27/09/2012

CONCEITO: Excelente

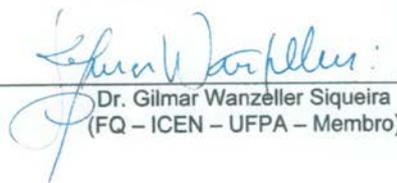
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Denilson Luz da Silva
(FEQ – ITEQ – UFPA - Orientador)



Prof. Dr. Davi do Socorro Barros Brasil
(FEQ - ITEQ – UFPA – Membro)



Dr. Gilmar Wanzeller Siqueira
(FQ – ICEN – UFPA – Membro)

AGRADECIMENTOS

À **Deus**, luz infinita, força suprema de amor e fé que me conduz no caminho certo e verdadeiro;

Aos meus pais, **José Lino Ribeiro da Silva e Maria Luiza da Silva e Silva**, pelo incentivo nos estudos pelos ensinamentos e exemplos dados possibilitando me tornar o que sou. A eles meu respeito e admiração, por serem pessoas simples mais capazes de transmitir valores que sempre me impulsionaram a concretizar sonhos como a realização deste trabalho. O meu muito obrigado! Amo vocês;

As minhas irmãs, **Dariane da Silva e Silva e Leliane da Silva e Silva**, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos alegres e tristes. A vocês o meu eterno obrigado;

Aos meus pequeninos sobrinhos **Ulysses, Eduardo, Maria Clara e Lucas** os quais nos conduz a continuar a viver, amores da tia;

Ao meu esposo, **Deivison Nascimento** por ser meu grande amor e pela compreensão;

Aos colegas do curso, **Selma Melo, Halene Moraes e Hellen Carvalho**, pelo apoio e por estarem presentes na minha vida durante esses dois anos de estudo;

Ao meu orientador **Prof. Dr. Denilson Luz da Silva**, pelo respeito, compreensão e ensinamentos;

Ao **Laboratório de Processos Ambientais (LPA)**, por disponibilizar a infraestrutura necessária ao desenvolvimento deste trabalho;

A **Universidade Federal do Pará** e ao **CNPq** pelo apoio financeiro.

“É triste pensar que a natureza fala e que o gênero humano não a ouve”.

Victor Hugo

RESUMO

Este trabalho consiste em avaliar a eficiência de novas alternativas de uso com as espécies naturais do quiabo (*Abelmoschus esculentus*), da semente de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) e da semente de olho-de-dragão (*Adenanthera pavonina* L.) conhecido também como falso angico, pulverizados com granulometria de 0,074 mm, para tratamento de água como polímeros naturais auxiliar de floculação na remoção principalmente dos parâmetros turbidez e cor para fins industriais, através de tratamento em ensaio no mecanismo de varredura utilizando o equipamento estático de bancada *Jar Test* com adição de coagulante químico (sulfato de alumínio). O pó dos polímeros foi obtido após higienização, secagem, trituração, moagem, peneiramento, e utilizado no processo de coagulação, floculação e sedimentação para testar a eficiência de cada um, quando usado só e quando usado em conjunto com o coagulante químico, seguido da análise dos parâmetros físico-químicos pH, turbidez, cor aparente, cor verdadeira e temperatura. Os resultados mostraram que o polímero do quiabo apresentou melhor eficiência na remoção da turbidez e cor em relação às mesmas dosagens usadas com os demais polímeros analisados e quando se fez a redução da dosagem do coagulante usado em conjunto com os polímeros, observou uma ótima remoção da turbidez, principalmente com o conjunto coagulante e polímero de quiabo, com a eficiência de remoção de 94% da turbidez e de 98% da cor com dosagem ótima do quiabo igual a 1,0 mg/L e do coagulante de 10 mg/L. Portanto é possível fazer uma redução da dosagem do coagulante quando usado em conjunto com o auxiliar de floculação, pois o polímero de quiabo pode ser usado para tratamento de água e frente à possibilidade de múltiplos usos econômicos e ecológicos na indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Polímeros naturais, coagulação-floculação, tratamento de água.

ABSTRACT

This work is to evaluate the effectiveness of new alternatives for use with natural species of okra (*Abelmoschus esculentus*) seed angico red (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) and seed-eye dragon (*Adenanthera pavonina* L.) also known as 'falso angico', sprayed with a particle size of 0.074 mm, sieving for water treatment as natural polymers, helping the flocculation on removal of main parameters in turbidity and color through tests in the scanner equipment using *Jar Test* static bench adding a chemical coagulant (aluminium sulfate). The powder of polymers were obtained after washing, drying, crushing, grinding, sieving, and used in the coagulation process, flocculation and sedimentation to test the efficiency of each one, when used alone and when used in conjunction with the chemical coagulant, followed by the analysis of physical-chemical parameters pH, turbidity, apparent color, true color and temperature. The results showed that the polymer of okra presented better efficiency in removing turbidity and color compared to the same doses used with other polymers considered and when reducing the dosage of coagulant used in conjunction with the polymers, it was observed a great removal of turbidity, especially with the conjunction of coagulant and polymer of okra, with the removal efficiency of 94% of turbidity and 98% of color with optimum dosage of okra equal to 1.0 mg/L and coagulant equal to 10 mg/L. Therefore it is possible to reduce the dosage of the coagulant when used in conjunction with the auxiliary flocculation, as the polymer of okra can be used for water treatment and facing the possibility of multiple economic and ecological uses in industry.

Keywords: Natural polymers, coagulation-flocculation, water treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Guia para Aplicação de Coagulantes.....	21
Figura 1 - Tamanho das partículas e região de remoção por coagulação presentes na água	29
Figura 2 - Esquema da distribuição de cargas na vizinhança de uma partícula carregada e os respectivos potenciais associados à dupla camada elétrica na interface sólido-líquido	31
Figura 3 - Energia potencial (V) de interação partícula-partícula em função da distância (d) de separação entre duas partículas coloidais.....	32
Figura 4 - Coagulação de partículas coloidais por neutralização de cargas.....	44
Figura 5 - Quiabo (<i>Abelmoschus esculentus</i>).....	54
Figura 6 - Semente de angico-vermelho	55
Figura 7 - Semente de olho-de-dragão	56
Quadro 2 - Equipamentos usados nos ensaios.....	59
Fotografia 1 - Equipamento <i>Jar Test</i>	60
Fotografia 2 - Quiabo seco.....	62
Fotografia 3 - Auxiliares de floculação triturados.....	62
Fotografia 4 - Quiabo em forma de pó.. ..	63
Fluxograma 1 - Etapas dos experimentos.....	64
Fotografia 5 - Resultado da água após o processo de coagulação, floculação e sedimentação.....	66
Gráfico 1 - Teste 1 de dosagem do coagualnte sulfato de alumínio.....	69
Gráfico 2 - Eficiência de remoção da turbidez do teste 1.....	69
Gráfico 3 - Teste 2 de dosagem do coagualnte sulfato de alumínio.....	70
Gráfico 4 - Eficiência de remoção da turbidez do teste 2.....	71
Gráfico 5 - Teste 3 de dosagem do coagulante sulfato de alumínio.....	72
Gráfico 6 - Eficiência de remoção da turbidez do teste 3.....	72
Gráfico 7 - Teste 1 de dosagem dos auxiliares de floculação.....	74
Gráfico 8 - Eficiência de remoção da turbidez do teste 1 utilizando só polímeros.....	74
Gráfico 9 - Teste 2 de dosagem dos auxiliares de floculação.....	75
Gráfico 10 - Eficiência de remoção da turbidez do teste 2 utilizando só polímeros...	76
Gráfico 11 - Teste 3 de dosagem dos auxiliares de floculação.....	77

Gráfico 12 - Eficiência de remoção da turbidez do teste 3 utilizando só polímeros...	77
Gráfico 13 - Teste em conjunto com sulfato de alumínio e auxiliares.....	79
Gráfico 14 - Teste com os melhores resultados dos polímeros + tempo de sedimentação.....	80
Gráfico 15 - Teste do tempo de sedimentação do coagulante.....	81
Gráfico 16 - Eficiência de remoção da turbidez para T.S do coagulante.....	82
Gráfico 17 - Velocidade de sedimentação com 20 mg/L do sulfato de alumínio... ..	83
Gráfico 18 – Teste da velocidade de sedimentação com a solução de quiabo e 20 mg/L do sulfato de alumínio	84
Gráfico 19 - Teste da velocidade de sedimentação com a solução de angico vermelho e 20 mg/L do sulfato de alumínio.....	84
Gráfico 20 - Teste da velocidade de sedimentação com a solução de olho-de-dragão e 20 mg/L do sulfato de alumínio	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Velocidade e Tempo de Sedimentação de Impurezas.....	28
Tabela 2 - Requisitos de qualidade para água de uso industrial.....	36
Tabela 3 – Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos da água bruta...	68
Tabela A1 - Dados do 1º ensaio com sulfato de alumínio.....	96
Tabela A2 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio.....	96
Tabela A3 - Dados do 2º ensaio com sulfato de alumínio.....	97
Tabela A4 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio.....	97
Tabela A5- Dados do 3º ensaio com sulfato de alumínio.....	97
Tabela A6 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 3º ensaio.....	97
Tabela A7 - Dados do 1º ensaio com polímero de quiabo.....	98
Tabela A8 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio com quiabo.	98
Tabela A9 - Dados do 2º ensaio com polímero de quiabo.....	99
Tabela A10 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio com quiabo	99
Tabela A11 - Dados do 3º ensaio com polímero de quiabo.....	99
Tabela A12 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 3º ensaio com quiabo	99
Tabela A13 - Dados do 1º ensaio com polímero de angico-vermelho.....	100
Tabela A14 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio com AV ...	100
Tabela A15 - Dados do 2º ensaio com polímero de angico-vermelho.....	100
Tabela A16 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio com AV ...	101
Tabela A17 - Dados do 3º ensaio com polímero de angico-vermelho.....	101
Tabela A18 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 3º ensaio com AV ...	101
Tabela A19 - Dados do 1º ensaio com polímero de olho-de-dragão.....	101
Tabela A20 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio com OD..	102
Tabela A21 - Dados do 2º ensaio com polímero de olho-de-dragão.....	102
Tabela A22 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio com OD...	102
Tabela A23 - Dados do 3º ensaio com polímero de olho-de-dragão.....	103
Tabela A24 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 3º ensaio com OD...	103
Tabela A25 - Resultados do 1º ensaio coagulante + polímero de quiabo.....	104

Tabela A26 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio coagulante + P.Q.....	104
Tabela A27 - Resultados do coagulante + P.Q para tempo de sedimentação.....	105
Tabela A28 - E.R(%) da turbidez em relação ao T.S utilizando coagulante + P.Q..	105
Tabela A29 - Resultados do 1º ensaio coagulante + polímero de AV.....	105
Tabela A30 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio coagulante + P.AV	106
Tabela A31 - Resultados do coagulante + polímero de AV para tempo de sedimentação.....	106
Tabela A32 - E.R(%) da turbidez em relação ao T.S utilizando coagulante + AV...	106
Tabela A33 - Resultados do 1º ensaio coagulante + polímero de olho-de-dragão .	107
Tabela A34 - Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio coagulante + P.OD ...	107
Tabela A35 - Resultados do coagulante + P.OD para tempo de sedimentação	107
Tabela A36 - E.R(%) da turbidez em relação ao T.S utilizando coagulante + OD ..	108
Tabela A37 - Teste de tempo de sedimentação com dosagem ótima do coagulante 20 mg/L.....	108
Tabela A38 - E.R(%) da turbidez em relação ao tempo de sedimentação do coagulante 20 mg/L.....	108
Tabela A39 - Velocidade de sedimentação do coagulante + polímero de quiabo...	109
Tabela A40 - E.R(%) da turbidez para velocidade de sedimentação usando o P.Q	110
Tabela A41 - Velocidade de sedimentação do coagulante + polímero de AV.....	110
Tabela A42 - E.R(%) da turbidez para velocidade de sedimentação usando o P.AV ...	111
Tabela A43 - Velocidade de sedimentação do coagulante + polímero de OD	111
Tabela A44 - E.R(%) da turbidez para velocidade de sedimentação usando o P.OD...	112

LISTA DE ABREVIATURAS SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AV – Angico-Vermelho
 Al^{3+} - íon de alumínio
 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – Sulfato de alumínio
 C_0 – Cor inicial
 C_f – Cor final
 Ca^{2+} - íon de cálcio
 CaCO_3 – Carbonato de cálcio
 Cl^- - íon de cloro
 CO_2 – Dióxido de carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
 D_p – Dosagem dos polímeros
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DDT - Diclorodifenil tricloroetano
DQO – Demanda Química de Oxigênio
E.R (%) – eficiência de remoção da turbidez e cor
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA – Estação de Tratamento de Água
 Fe^{2+} - íon de ferro
G – Gradiente de velocidade
 HCO_3^- – ácido carbônico
 H_2S – Gás Sulfídrico
LPA – Laboratório de Processos Ambientais
 Mg^{2+} - íon magnésio
 N_2 – molécula de nitrogênio
 Na^+ - íon de sódio
NaOH – Hidróxido de Sódio
OD – Olho-de-Dragão
 O_2 – Molécula de Oxigênio
PACl – Policloreto de alumínio
P.Q – Polímero do Quiabo
P.AV – Polímero de Angico-Vermelho

P.OD – Polímero de Olho-de-Dragão

PCB - bifenilos policlorados

rpm – rotação por minuto

SO³⁻ - óxido de enxofre

SO⁴⁻ - íon sulfato

SiO₂ – dióxido de silício

T.AV – Turbidez do angico-vermelho

T.OD – Turbidez de olho-de-dragão

T.Q – Turbidez do quiabo

T.S – Tempo de Sedimentação

T_0 – Turbidez inicial

T_f – Turbidez final

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO GERAL	17
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	18
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA.....	18
3.1.1 Parâmetros Físicos da Água	19
3.1.2 Parâmetros Químicos da Água	22
3.2 AS IMPUREZAS DA ÁGUA	24
3.2.1 Sólidos em suspensão	25
3.2.2 Sólidos dissolvidos	26
3.2.3 Partículas coloidais ou colóides	27
3.2.4 Carga dos colóides	29
3.2.5 Interação entre partículas coloidais	30
3.2.6 Potencial Zeta	32
3.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO	33
3.3.1 A água na indústria	34
3.3.2 Tipos de tratamento	37
3.3.3 Tecnologia de tratamento	38
3.4 COAGULAÇÃO FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO	38
3.4.1 Coagulação	40
3.4.2 Floculação	46
3.4.3 Sedimentação	47
3.4.4 Polímeros naturais e sintéticos	49
3.4.5 Sulfato de alumínio	53
3.5 DESCRIÇÃO BOTÂNICA DAS AMOSTRAS	53
3.5.1 Características químicas das amostras	56
4 MATERIAL E MÉTODOS	58
4.1 MATERIAL	58
4.1.1 Coagulante, Alcalinizante e Polímeros Naturais como auxiliares de floculação	58
4.1.2 Água bruta do rio Guamá	58

4.1.3 Equipamentos analíticos	59
4.1.4 Equipamento <i>Jar Test</i>	60
4.1.5 Preparo das soluções	60
4.2 MÉTODOS	61
4.2.1 Processamento das espécies vegetais	61
4.2.2 Procedimentos dos ensaios no <i>Jar Test</i>	64
4.2.2.1 Ensaio com o coagulante	65
4.2.2.2 Ensaio com polímero natural como auxiliar de floculação	65
4.2.2.3 Ensaio em conjunto (Coagulante e Polímero)	65
4.2.2.4 Ensaio para determinar o tempo e velocidade de sedimentação	66
4.2.3 Análise dos dados	67
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
5.1 TESTES SÓ COM SULFATO DE ALUMÍNIO: 1ª ETAPA	68
5.2 TESTES SÓ COM OS AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO: 2ª ETAPA	73
5.3 TESTES DO SULFATO DE ALUMÍNIO EM CONJUNTO COM OS POLÍMEROS: 3ª ETAPA	78
5.4 TESTES PARA TEMPO X VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO: 4ª ETAPA	82
6 CONCLUSÕES	87
REFERÊNCIAS	88
APÊNDICE A	95

1 INTRODUÇÃO

Entre os recursos naturais que o homem dispõe, a água aparece como um dos mais importantes, sendo indispensável para a sua sobrevivência. Em suas múltiplas atividades, o homem precisa de água, sendo que a utilização cada vez maior dos recursos hídricos tem produzido problemas, não só de carência dos mesmos, como também de degradação de sua qualidade (MOTA, 1995).

É conhecido que dos 3% de água doce disponíveis no planeta, apenas 0,01% localiza-se nos rios e nos lençóis freáticos, sendo esse percentual utilizado para o consumo do homem e de outros seres vivos. Dessa forma, a água passou a ser uma preocupação crescente não apenas no que se refere à quantidade disponível, mas, principalmente, em relação à sua qualidade, acarretando prejuízos e restrições nos seus usos múltiplos (VASCONCELOS e SOUZA, 2011).

Os problemas relativos à qualidade da água envolvem um espectro bastante amplo dentro das áreas de estudo hidro ambiental e na determinação das potenciais fontes de contaminação resultantes de: disposições inadequadas dos resíduos líquidos e sólidos, de natureza doméstica e industrial; alterações provocadas por empreendimentos para geração de energia (barragens); resfriamento de águas de termoelétricas, além das práticas agrícolas e de criação de animais em pequenas áreas nas bacias urbanas. Todas essas ações antropogênicas acarretam impactos que se inter-relacionam com os processos naturais que ocorrem na bacia (LIMA et al, 2012).

A situação se agrava, em decorrência do efeito acumulativo gerado pelo crescimento populacional desordenado e a falta de planejamento nas cidades têm se tornado uma constante ameaça à saúde da população. Os esgotos são despejados de forma natural nas valas e nos rios, a água contaminada é a causa principal de várias enfermidades. A influência do homem nesse contexto de contaminação de lençóis freáticos, desmatamento, alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente tem levado a uma expressiva queda da qualidade da água e diminuição da biodiversidade aquática (VASCONCELOS e SOUZA, 2011). As águas naturais, principalmente as águas superficiais próximas às zonas urbanas, industriais e regiões desmatadas contêm uma grande variedade de

impurezas, como partículas coloidais, substâncias húmicas, plâncton e microrganismos em geral (BORBA, 2001).

Devido a todos esses problemas o homem está buscando de várias formas minimiza – lós e uma das alternativas estão na biodiversidade dos recursos naturais a solução, numa tentativa de evitar o uso de produtos químicos artificiais, muitas vezes contaminados com substâncias químicas tóxicas e/ou radioativas. E nessa busca esta o crescente estudo no uso de coagulantes naturais, de origem vegetal, para clarificação de água turva e colorida, quando possível, é de grande significação ecológica e ambiental, considerando que a presença das plantas, sempre contribui com a ecologia, o embelezamento e a melhoria do ambiente, tornando o meio mais agradável e ainda produzindo oxigênio molecular, indispensável à respiração dos seres vivos.

Os problemas dos coagulantes naturais para uso em sistema comunitário ou industrial consistem na dificuldade de sua obtenção em qualidade e quantidade suficientes para operar um sistema de abastecimento de água desse porte e também, devido a algumas inconveniências que eles conferem à água, para Hudson (1981), “um dos axiomas do controle da qualidade da água é que, ao ampliar a clareza da água, com a melhoria do tratamento, há uma redução paralela da cor, do sabor e do odor, além da diminuição de bactérias, vírus e frequentemente de ferro, manganês e do nível de alumínio residual”.

Os polímeros naturais usados como coagulantes ou como auxiliares de coagulação, floculação e filtração estão em destaque entre estes produtos: amido de milho e mandioca usados como auxiliares de floculação e a moringa oleífera Lam usada com coagulante entre outros (LIMA, 2007). Pretende-se, com os estudos dos polímeros naturais do quiabo (*Abelmoschus esculentus*), da semente de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) e da semente de olho-de-dragão (*Adenanthera pavonina* L.) que serão testados como auxiliares de floculação em tratamento de água, melhor a qualidade da água tratada. Ampliando-se a eficiência da sedimentação, devido ao uso de polímero natural que torna os flocos mais resistentes às forças de cisalhamento, e com maior velocidade de sedimentação ou de flotação e maior aderência no meio filtrante (LIMA, 2007).

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de novas alternativas de uso com as espécies naturais do quiabo (*Abelmoschus esculentus*), semente de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) e semente de olho-de-dragão (*Adenanthera pavonina* L.), pulverizados para tratamento de água como auxiliar de floculação na remoção principalmente dos parâmetros turbidez e cor para uma possível utilização destes produtos no tratamento de efluentes industriais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar o desempenho dessas espécies vegetais quando aplicado sem o coagulante;

Estudar a aplicação dos polímeros obtido da trituração e pulverização como auxiliar de floculação em processos de tratamento de água natural;

Verificar o desempenho dos polímeros obtidos, por pulverização, comparando os resultados com os aceitáveis nas indústrias, para uma possível aplicação nos processos de tratamento da água para fins industriais do tipo físico-químico com coagulação, floculação e sedimentação;

Estudar a viabilidade dos polímeros como auxiliares de floculação para clarificação de água in natura, em relação aos parâmetros de qualidade cor e turbidez.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 QUALIDADE DA ÁGUA

A determinação dos parâmetros físicos, químicos e biológicos tais como pH, turbidez, cor aparente e verdadeira, temperatura, alcalinidade, coliformes entre outros em água são necessários para representar alterações ou para determinar padrões de qualidade, e a partir dessas análises são sugeridas ou não outro tipo de investigação para se descobrir mudanças não esperadas. Critérios de qualidade da água especificam concentrações e limites de alguns parâmetros que interferem na manutenção do ecossistema aquático e na proteção da saúde humana (ARAÚJO e MELO, 2000).

A qualidade da água pode ser obtida, através de parâmetros físicos, químicos e biológicos, nas quais suas determinações são feitas em laboratório. Esses parâmetros servem para caracterizar águas de abastecimento, de água residuárias, mananciais, e corpos receptores (SPERLING, 2005).

Segundo Schleiter et al (1999), as propriedades físicas e químicas das águas correntes e seus efeitos sobre a comunidade biológica são provenientes de numerosos fatores ambientais, como condições climáticas, razão produção/respiração, escoamento superficial e efluentes industriais. E ainda de acordo com Townsend e Riley (1999) que afirmam que as características físicas, químicas e biológicas da água, resultam da interação com o uso e a ocupação do solo, na área da bacia hidrográfica.

As chuvas no Brasil apresentam, conforme a localização geográfica sazonalidade marcante, com estação seca e chuvosa em épocas diferentes do ano. Além da variação mensal da chuva, seu ciclo diurno também varia espacialmente (ANGELIS; MCGREGOR; KIDD, 2004), podendo afetar as concentrações das variáveis físico-químicas nos rios. Entretanto, em ambientes onde a ação antrópica é marcante, a qualidade da água é afetada não só por fatores naturais, mas também por impactos das atividades humanas (SILVA et al, 2008).

As características físicas podem ser determinantes na escolha da tecnologia de tratamento a ser utilizada. Os principais parâmetros utilizados para caracterizar fisicamente as águas naturais são a cor, a turbidez, os teores de sólidos em suas diversas frações, a temperatura, o sabor e o odor (CARVALHO, 2008).

As características químicas da água são devidas à presença de substâncias dissolvidas e são de grande importância, tendo em vista as consequências sobre o organismo humano. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) alguns elementos, ou compostos químicos na água bruta podem inviabilizar o uso de algumas tecnologias de tratamento, como os parâmetros químicos de qualidade: pH, alcalinidade e acidez, dureza, compostos nitrogenados e compostos orgânicos.

Braga (2002) traz que alguns organismos são indicadores da qualidade biológica da água, sendo esta responsável pela transmissão de um grande número de doenças, sobretudo nas áreas menos desenvolvidas, onde o saneamento básico é precário ou inexistente. Mota (2003) complementa que os coliformes são indicadores da presença de microorganismos patogênicos na água, sendo causadores de doenças.

No tocante a avaliação da qualidade da água, conforme Sperling (1996), os microorganismos possuem o papel de maior importância dentre os seres vivos, em razão de: sua grande predominância em certos ambientes; sua atuação nos processos de depuração dos despejos; ou sua associação com as doenças relacionadas à água. Dentre os principais microorganismos encontrados na água, têm-se as bactérias, as algas, fungos protozoários, vírus e helmintos.

Considerando a necessidade de classificação e distribuição do uso de águas, essas determinações são de fundamental importância para especificar as condições e padrões de qualidades requeridos, sendo assim uma ferramenta para benefício da população no controle da poluição e garantia de proteção ambiental.

3.1.1 Parâmetros Físicos da Água

A estratégia principal consiste na identificação de parâmetros que representem, de forma indireta, a concentração de sólidos em suspensão ou dissolvidos na água. Esses parâmetros têm um duplo significado para a saúde pública. Por um lado, revelam a qualidade estética da água, cuja importância sanitária reside no entendimento de que águas com inadequado padrão estético, mesmo microbiologicamente seguras, podem conduzir os consumidores a recorrerem a fontes alternativas menos seguras. Por outro lado, águas com elevado conteúdo de sólidos comprometem a eficiência da desinfecção, ou seja, nesse caso

sólidos podem se mostrar associados à presença de microorganismos (BRASIL, 2006).

Cor Aparente e Verdadeira

A cor de uma amostra de água está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico (ácidos húmico e fúlvico) e inorgânico. Há também compostos inorgânicos capazes de possuir as propriedades e provocar os efeitos de matéria em estado coloidal. Os principais são os óxidos de ferro e manganês, que são abundantes em diversos tipos de solo. Alguns outros metais presentes em efluentes industriais conferem-lhes cor, mas em geral, íons dissolvidos pouco ou quase nada interferem na passagem da luz. A diferenciação entre a cor verdadeira e a cor aparente, que é incrementada pela turbidez, é dada pelo tamanho das partículas, isto é, pode ser generalizado que partículas com diâmetro superior a 1,2 μm causam turbidez, já que partículas coloidais e dissolvidas causam cor (PERPETUO, 2011).

Antigamente, a medida da cor era feita apenas por motivo estético, porém, com a descoberta de que tais substâncias são precursoras de formação de trihalometanos (THM), nos que incluem triclorometano (clorofórmio), dibromoclorometano, diclorobromometano e bromofórmio; os de iodo raramente têm sido observados nas águas cloradas, quando formados, esses compostos são considerados cancerígenos, desta forma, se a desinfecção for feita com cloro livre, a quantificação da cor passa a ser muito importante. Geralmente, é usado método de comparação visual, em aparelho que dispõe de discos padronizados. A unidade de cor, também conhecida como (uH) unidade Hazen – PtCo/L, é obtida quando se dissolvem 1mg de cloroplatinato de potássio e 0,5 mg de cloreto de cobalto em um litro de água destilada com pH = 7,0 (AWWA, 1990; DI BERNARDO, 1993)

Turbidez

A turbidez em água é devida à presença de materiais em suspensão de diversos tamanhos e composições. Segundo Peixoto (2007) a presença destes materiais em suspensão numa amostra de água causa a dispersão e a absorção da

luz que atravessa a amostra, em lugar da sua transmissão em linha reta. A turbidez é a expressão desta propriedade óptica e é indicada através da unidade inglesa NTU (UNT- Unidades Nefelométrica de Turbidez).

A seguir, apresenta-se o Quadro 1, com orientações de acordo com MWH (2005), acerca da aplicação de coagulantes em função dos fatores que afetam a coagulação.

Quadro 1 - Guia para Aplicação de Coagulantes.

Parâmetros	Coagulante com Al (III)	Coagulante com Fe (III)	Coagulante com PACl
Turbidez	Água com baixa turbidez, requer coagulação na varredura.	Água com baixa turbidez, requer coagulação na varredura.	Água com baixa turbidez, requer coagulação na varredura e para águas frias é conveniente PACl com média basicidade (40 a 50%).
Alcalinidade	Alta alcalinidade torna o ajustada dosagem ótima mais difícil e para alcalinidade insuficiente (1 Al requer 0,45 de alc.) deve-se suplementar.	Alta alcalinidade torna o ajuste da dosagem ótima mais difícil, porém o impacto para Fe(III) é menor que para Al(III).	
pH	A faixa do pH ótima varia de 5,5 a 7,7; mas existe flutuação, com valor ótimo próximo a 6 no verão e a 7 no inverno. Alto valor de pH na água bruta corresponde a crescimento de algas, que afeta a dosagem.	A faixa do pH ótima varia de 5 a 8,5 ou mais e flocos formados em águas frias são mais fracos.	O pH para os coagulantes pré hidrolisados, é menos crítico e a faixa varia de 4,5 a 9,5.
Matéria orgânica natural (NOM)	A redução de NOM normalmente controla a dosagem do coagulante, que tende a aumentar com a redução do pH com eficiência de cerca de 70%.	A remoção de NOM normalmente controla a dosagem do coagulante, que tende a aumentar com a redução do pH com eficiência superior a 80%.	A remoção de NOM normalmente controla a dosagem do coagulante, que tende a aumentar com a redução do pH com eficiência de cerca de 70% e PACl com baixa basicidade (20 a 30%) para águas com cor elevada.
Temperatura	Afeta a solubilidade dos produtos, flocos formados são fracos.	Flocos formados são fracos.	
Intensidade de mistura	Reações de hidrólise são muito rápidas, com tempo de 1 seg. e preferencialmente menor que 0,5 segundos.	Reações de hidrólise são muito rápidas, com tempo de 1 segundo e ideal e menor que 0,5 segundos.	Por ser pré hidrolisado o tempo da mistura rápida, não é fator crítico para o PACl.

Fonte: MWH (2005).

Temperatura

A temperatura desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físicos e químicos. As variações de temperatura são parte do regime climático normal, e corpos d'água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, e podem apresentar estratificação vertical. A temperatura da água é influenciada por fatores tais como radiação disponível, latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade (ZUMACH, 2003).

3.1.2 Parâmetros Químicos da Água

As características químicas são aferidas pela própria identificação do componente na água, por meio de métodos laboratoriais específicos. Tais componentes químicos não devem estar presentes na água acima de certas concentrações determinadas com o auxílio de estudos epidemiológicos e toxicológicos. As concentrações limites toleráveis significam que a substância, se ingerida por um indivíduo com constituição física mediana, em certa quantidade diária, durante um determinado período de vida, adicionada à exposição esperada da mesma substância por outros meios (alimento, ar, etc.), submete esse indivíduo a um risco inaceitável de acometimento por uma enfermidade crônica resultante. Dois importantes grupos de substâncias químicas, cada qual com origens e efeitos sobre a saúde humana específicos, são as substâncias químicas inorgânicas, como os metais pesados, e orgânicas, como os solventes (BRASIL, 2006).

pH

Segundo Gonçalves et al, (2001), o pH é usado para expressar a concentração de íons de hidrogênio, podendo variar seu grau de acidez ou basicidade no meio, indicando assim uma baixa quantidade de substâncias tamponadas quando está < 6,00. Se o mesmo estiver em torno de 7,00, pode-se considerar a água como neutra, menor que 6,00, ácida e maior que 8,00, básica. Os valores fora das faixas recomendadas (por exemplo, menor que 6,00 ou maior que 9,00 – Resolução CONAMA nº 357/2005 podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição, ocorrendo uma possível extração de ferro,

cobre, chumbo, zinco e cádmio e dificultar a descontaminação do ambiente aquático (BRASIL, 2005).

O potencial hidrogeniônico – pH, por definir o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução, deve ser considerado, pois os organismos aquáticos estão geralmente adaptados às condições de neutralidade e, em consequência, alterações bruscas do pH de uma água podem acarretar o desaparecimento dos seres presentes (ZUMACH, 2003).

Alcalinidade

Alcalinidade da água é representada pela presença dos íons hidróxido, carbonato e bicarbonato (APHA; AWWA; WPCF, 1995). A importância do conhecimento das concentrações destes íons permite a definição de dosagens de agentes flocculantes e fornece informações sobre as características corrosivas ou incrustantes da água analisada. Segundo Farias (2006), esse parâmetro é uma medida da capacidade de neutralização de ácidos e é devida, principalmente, a sais de ácidos fracos e bases fortes, e tais substâncias têm efeito tampão, resistindo à queda de pH resultante da adição de ácidos. A porção principal de alcalinidade em águas naturais é causada por hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos. De acordo com Sawyer; McCarty; Parkin (1994) enfoca que a alcalinidade é uma determinação importante no controle do tratamento de esgotos devido a sua capacidade de tamponação.

Resíduos

Segundo Baumgarten e Pozza (2001) referem-se aos materiais sólidos suspensos e aos elementos dissolvidos na água. Os resíduos podem afetar as características físico-químicas da água ou advertir para a qualidade dos efluentes em determinados locais. Grandes quantidades de resíduos geralmente causam prejuízo ao sabor da água e podem induzir a uma desfavorável reação psicológica nos consumidores. Essas águas podem ser insatisfatórias ao uso doméstico de contato primário. Os processos de tratamento de água e esgoto ajudam a minimizar esses problemas.

Entre os resíduos mais importantes está o material em suspensão, que é constituído de pequenas partículas que se encontram suspensas na água, as quais têm uma fração mineral ou inorgânica e outra orgânica. Altas concentrações de material em suspensão limitam a qualidade da água bruta, por estarem relacionadas com a turbidez, a salinidade e dureza da água. Causam ainda, danos à flora e fauna aquáticas, e como diminui a penetração de luz na água prejudica a fotossíntese de fitoplâncton, das algas e da vegetação submersa. Favorece ainda o desenvolvimento de bactérias e fungos, que se proliferam nessas partículas, e influenciam no aspecto econômico do tratamento da água com vistas a torná-la potável (SILVA, 1990).

3.2 AS IMPUREZAS DA ÁGUA

Nas bacias hidrográficas, sobretudo as de abastecimento público, é possível perceber inúmeros problemas ambientais como as fontes de poluição difusas e pontuais, tais quais a pecuária e a agricultura, que aliadas ao uso de agrotóxicos e à falta de conservação dos solos são representativas e de mais difícil controle devido à grande quantidade e às grandes extensões das áreas na maioria das bacias hidrográficas desses mananciais. As indústrias, de modo geral são outras fontes poluidoras como granjas, frigoríficos, matadouros, curtumes e/ou qualquer atividade que gere resíduos que não tratam seus efluentes, ou, que possuem sistemas de tratamento, mas funcionam de forma ineficiente e inadequado. Além disso, as atividades de mineração, pontos de banhistas e acondicionamento inadequado de resíduos providos de atividades humanas (domésticas, comercial, industrial e hospitalar) também são fontes de degradação dos mananciais (COSTA, 2002).

Como em qualquer outra indústria, o funcionamento de uma ETA implica a consideração de diferentes aspectos ambientais, com maior ou menor impacto, que devem ser identificados e regularmente monitorizados. Assim, aspectos como o consumo de produtos químicos, a produção de resíduos como lamas, as emissões gasosas, o consumo de energia e a própria captação de água, devem ser considerados de forma a serem minimizados os impactos ambientais que acionam no solo, ar, meio hídrico, recursos naturais, ecossistemas e nas comunidades afetadas (RIBEIRO, 2010).

A natureza e a composição do solo, sobre o qual ou através do qual a água escoar, determinam as impurezas adicionais que ela apresenta, fato agravado pela expansão demográfica e atividades econômicas na indústria e na agricultura, fazendo com que não se considere segura nenhuma fonte de água superficial, sendo obrigatória uma ou outra forma de tratamento (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

De acordo com Freitas Bessa (1997), a água possui várias impurezas, classificadas por seu tamanho e comportamento físico-químico. Quando em solução na água, apresentam-se nas seguintes formas:

Particulado ou suspensão: areia, argila, silte, restos de planta, animais, bactérias e algas;

Materiais coloidais: argila, sílica (SiO_2), proteínas, compostos orgânicos e vírus (com dimensão entre 3 μm e 0,3 μm);

Materiais dissolvidos: cátions (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+}), ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- e SO_4^-), e gases (O_2 , N_2 , etc).

3.2.1 Sólidos em suspensão

Partículas em suspensão, usualmente com tamanho médio superior a um micrão (μm), são visíveis a olho nu ou em microscópio comum e podem ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração simples, conforme o tipo do soluto, a densidade e a dimensão das partículas. Os sólidos suspensos totais são determinados pelo ensaio do resíduo sólido não filtrável. Separa-se este material da água através do filtro com dimensão de 1,2 μm (SENGIK, 2005).

Já no que se referem à classificação pelas características químicas, os sólidos presentes na água podem dividir-se em: sólidos orgânicos e sólidos inorgânicos. Na classificação pelas características químicas leva-se em conta que ao se submeter os sólidos a uma temperatura elevada (550 °C), a fração orgânica é volatilizada, conservando depois da combustão somente a fração inorgânica; sendo que os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, enquanto os sólidos não voláteis (fixos) configuram-se como matéria inorgânica ou mineral (SPERLING, 1996).

3.2.2 Sólidos dissolvidos

São os átomos e as moléculas dissolvidas em solventes compatíveis, ou seja, polar-polar ou apolar-apolar, ou ainda, as soluções se formam quando as forças atrativas entre as partículas do soluto e as do solvente possuem módulos comparáveis em magnitude com as que existem entre as partículas do soluto ou entre as partículas do solvente. Exemplo é a dissolução do cloreto de sódio na água, que ocorre devido à atração das moléculas da água superar a atração mútua entre os íons de Na^+ e Cl^- no cristal, com separação entre as moléculas da água para formar espaço que serão ocupados pelos íons de Na e Cl (BROWN; LE MAY; BURSTEN, 2005).

Os sólidos podem ser moleculares, formados por átomos e moléculas com as seguintes forças entre partículas: dispersão de London, dipolo-dipolo, ligação de hidrogênio; ou sólidos covalentes, formados por átomos ligados em uma rede de ligações covalentes, sendo a força entre partículas, a ligação covalente. Os sólidos iônicos são formados por íons positivos e negativos e têm força entre partículas através das ligações eletrostáticas. Há ainda os sólidos metálicos, formados por átomos e com força entre estes por ligações metálicas. Desses tipos de sólidos, frequentemente tem-se solução de sólidos moleculares, iônicos e alguns metálicos, dependendo do número de oxidação do íon metálico. Dentre as impurezas dissolvidas na água, incluem-se:

Dióxido de carbono, que se dissolve na água produzindo o fraco ácido carbônico;

Sais de sódio de lixiviação do solo ou de efluentes;

Silicatos originários das margens dos rios;

Compostos de ferro e manganês, devidos a minério do solo;

Cloretos decorrentes de esgoto ou intrusão salina;

Alumínio devido a mineral ou resíduo de tratamento de água;

Fosfatos devidos a detergentes;

Nitratos devido a fertilizantes;

Dureza devido aos compostos de cálcio e magnésio do solo alcalino.

Para Camp. Thomas; Mc Graw Hill (1973) as moléculas apolares e dos compostos orgânicos solúveis na água são mantidas juntas em estado sólido pelas

forças de Van der Waals, mas, quando em solução, são facilmente separadas, sendo que algumas moléculas orgânicas são tão grandes que exibem características de colóides, ao passo que outras são muito pequenas e os compostos minerais e os polares solúveis, quando no estado sólido, estão juntos devido às forças iônicas, mas, quando em solução, separam-se para quebrar as ligações iônicas.

3.2.3 Partículas coloidais ou colóides

Na solução, as partículas do soluto e do solvente são moléculas ou íons, com uma ou mais moléculas, amarradas a cada partícula do soluto. Nos colóides, as partículas são moléculas ou agregados de moléculas, com dimensões grandes em comparação às soluções, mas pequenas em relação às suspensões. Estas partículas coloidais têm várias formas, com tamanho aproximado entre 1 milimicron ($m\mu$) - 1 micron (μm). Consistem em vastas moléculas, como as de amido, ou de agregados de muitas moléculas. As partículas coloidais são maiores que as moléculas, mas são muito pequenas para serem observadas ao microscópio comum. Sua forma e tamanho podem ser determinados por microscopia eletrônica. Nas soluções verdadeiras, as partículas das substâncias dissolvidas são de tamanho molecular, tão pequeno quanto os colóides; mas nas suspensões, são muito maiores que os colóides (MANAHAM, 2001).

Ao se comparar as partículas dispersas na solução, nos colóides e nas suspensões, considera-se o tamanho relativo das partículas de soluto como 1. A dimensão da partícula coloidal está compreendida entre 10 e 100, enquanto o tamanho das partículas em suspensão é superior a 100. Provavelmente seja melhor definir o colóide como um sistema em que a área superficial é muito grande, com fenômenos superficiais predominantes, ao invés de classificá-lo em termos de tamanho da partícula coloidal, afinal os colóides representam um estado particular da matéria que, na água a ser potabilizada e no esgoto sanitário, normalmente está na forma de solução e emulsões (MANAHAM, 2001).

Em geral, os colóides não têm limite fixo de tamanho e são, portanto, estudados sob o enfoque físico-químico através de suas propriedades, pois uma partícula coloidal pode tardar até 755 dias para sedimentar, sendo necessário mudar esta condição através do aumento da velocidade de sedimentação, conforme apresentado na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Velocidade e Tempo de Sedimentação de Impurezas.

Tamanho da partícula (μm)	Tipo	Vel. Sedimentação (mm/s)	Tempo
100	Areia fina	7,9	38 s
10	Silte	$1,5 \times 10^{-1}$	1,85 horas
1	Bactéria	$1,5 \times 10^{-3}$	7,7 dias
0,1	Colóide	$1,5 \times 10^{-5}$	2,1 anos
0,01	Colóide	$1,5 \times 10^{-6}$	21 anos

Fonte: DI BERNARDO, 1993.

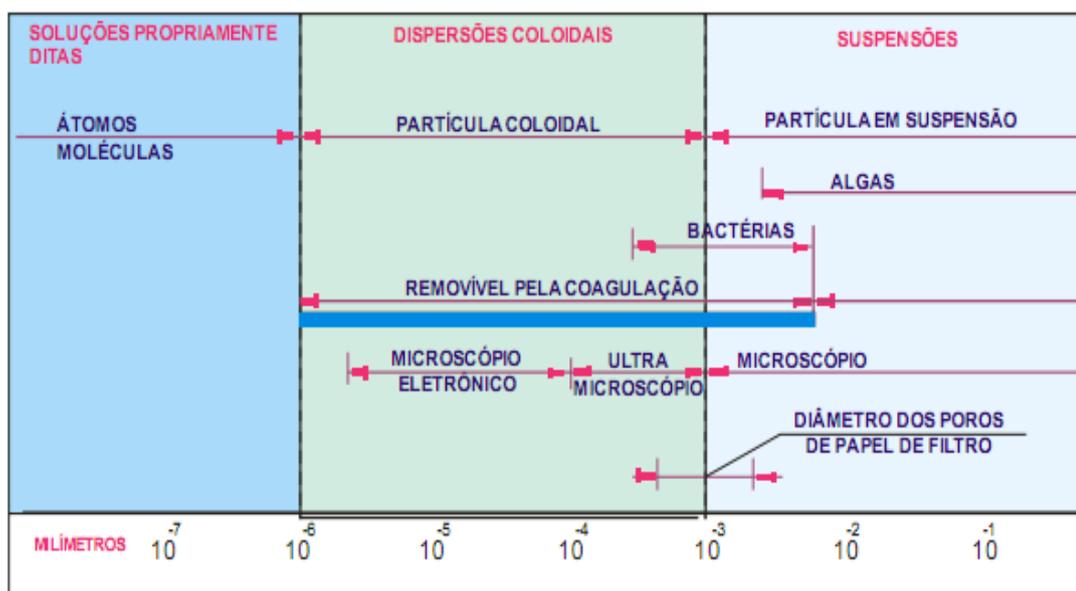
A Tabela 1, apresentada por Di Bernardo (1993), mostra que a partícula coloidal com dimensão de $0,1 \mu\text{m}$, ou seja, 100 nm , para sedimentar cerca de 1 m de profundidade, leva pouco mais de dois anos; e como os decantadores das estações de tratamento de água e esgoto são projetados para tempo máximo de cinco horas e profundidade de três metros, verifica-se que é impossível a remoção das partículas coloidais por simples sedimentação com as tecnologias atuais. Deve-se acrescentar que o autor adotou para o cálculo massa específica de 2650 Kg/m^3 , enquanto colóides e silte tem massa específica próxima à da água. Portanto, na realidade o tempo será maior ainda, sendo necessária a aglomeração para aumentar o tamanho, e, principalmente, a velocidade de sedimentação para remoção em decantadores. Porém, para a remoção das suspensões, de silte e areia, com tamanho superior a 10 metros tem-se como tratamento a simples sedimentação, ao passo que a remoção das substâncias dissolvidas é feita com oxidação e precipitação ou ainda, adsorção ou troca iônica, dependendo da característica dos íons ou moléculas existentes na água e que se pretende remover.

A aglomeração das partículas coloidais é obtida através da coagulação química, com escolha adequada do coagulante, em concordância com a água, às condições ambientais e dos sólidos que se pretende remover.

De acordo com Geng (2005), o sucesso do tratamento de águas superficiais, depende fortemente do desempenho do coagulante, pois o sulfato de alumínio tem baixa eficiência em águas frias, portanto será necessário o uso de outro coagulante metálico (sal de ferro ou de alumínio pré-hidrolisado) para a remoção eficiente, principalmente das partículas coloidais. A Figura 1, a seguir, foi inicialmente

apresentada por WQ&T edição da década de 70, porém foi adaptada por (PAVANELLI, 2001) com a fixação da faixa de dimensão de partículas em que é feita a coagulação química, sendo que, a ação dos coagulantes, além de possibilitar a remoção de colóides, pode promover a redução parcial de microrganismos.

Figura 1 - Tamanho das partículas e região de remoção por coagulação presentes na água.



Fonte: Pavanelli (2001).

3.2.4 Carga dos colóides

De acordo com Reynolds (1982), os colóides adsorvem e/ou desenvolvem cargas na superfície. Os sólidos coloidais podem ser classificados de acordo com a afinidade com a água, em hidrofílicos e hidrófobos. Os hidrofílicos têm afinidade pela água devido aos grupos solúveis em sua superfície, e dentre estes, há os grupos amino, carboxila, sulfônico e hidroxila, que por serem solúveis na água, promovem a hidratação, com formação de filme ou camada de hidratação que envolve o colóide hidrofílico, denominada de água de hidratação.

É em decorrência do potencial eletrostático que os colóides adquirem, por adsorção, cargas elétricas do meio dispersante, e que, de modo geral, todas as partículas coloidais dispersas na água, cujo pH esteja entre 5 e 10, apresentem carga negativa. Como a água bruta invariavelmente tem pH nesta faixa, os estudos

de coagulação e floculação desenvolveram-se baseados em modelos de partículas coloidais com cargas negativas (AZEVEDO NETTO, 1987).

De acordo com Faust e Aly (1998), a carga negativa dos colóides é devida à variedade dos grupos funcionais negativos na superfície das partículas coloidais e para estes autores, a estabilidade dos colóides em sistemas aquosos é devida à hidratação e à carga eletrostática na superfície, sendo que ambos os fenômenos dependem primariamente da estrutura química e composição da partícula e da interface sólido-água.

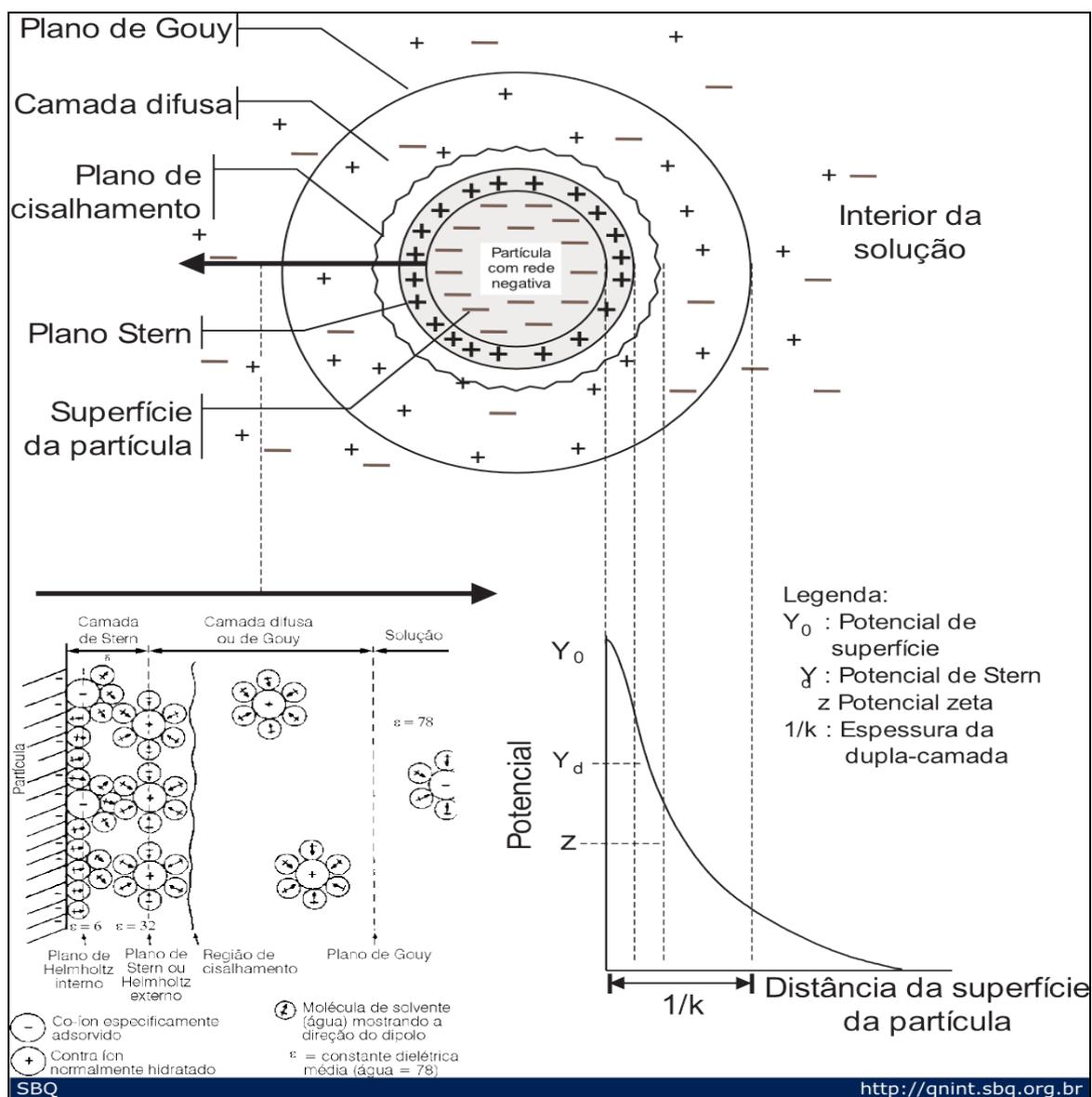
3.2.5 Interações entre partículas coloidais

Segundo Shaw (1975) as interações entre partículas coloidais governam as propriedades dos colóides e dependem da distância de separação e da quantidade de partículas coloidais dispersas. As forças externas devidas ao campo da gravidade ou ao cisalhamento também influenciam a interação e as colisões entre partículas. Essas forças de interação entre as superfícies das partículas coloidais advêm da natureza eletromagnética das interações entre a matéria. Nas dispersões coloidais aquosas pode haver: 1) interação repulsiva de duplas camadas de cargas, 2) interação atrativa de van der Waals, 3) interação estérica repulsiva de cadeias de polímeros adsorvidos nas partículas, 4) interação atrativa de polímeros, 5) interação de moléculas de solvente (solvatação) e 6) interação hidrofóbica. As partículas coloidais adquirem cargas elétricas na superfície, quando expostas ao contato com solvente polar, por diferentes mecanismos, tais como: dissociação de grupos da superfície e adsorção ou dissolução de íons da superfície. Por isso o equilíbrio químico entre os prótons e a superfície de óxidos é relevante para compreender o comportamento de dispersões aquosas.

A carga da superfície da partícula influencia a distribuição dos íons da solução na vizinhança, atraindo e repelindo contra-íons e co-íons, respectivamente. Essa distribuição de íons desde a superfície da partícula até o interior da solução (meio de dispersão) gera diferentes potenciais e está representada esquematicamente na Figura 2 o potencial da interfase entre a superfície da partícula e o interior da solução do meio de dispersão diminui mais rapidamente à medida que aumenta a força iônica, porque a dupla camada de cargas que se forma ao redor da partícula é comprimida em direção à superfície pela concentração de íons da solução. Portanto,

as propriedades elétricas dos colóides são governadas pelas interações repulsivas coulombianas (JUNIOR; VARANDA, 1999).

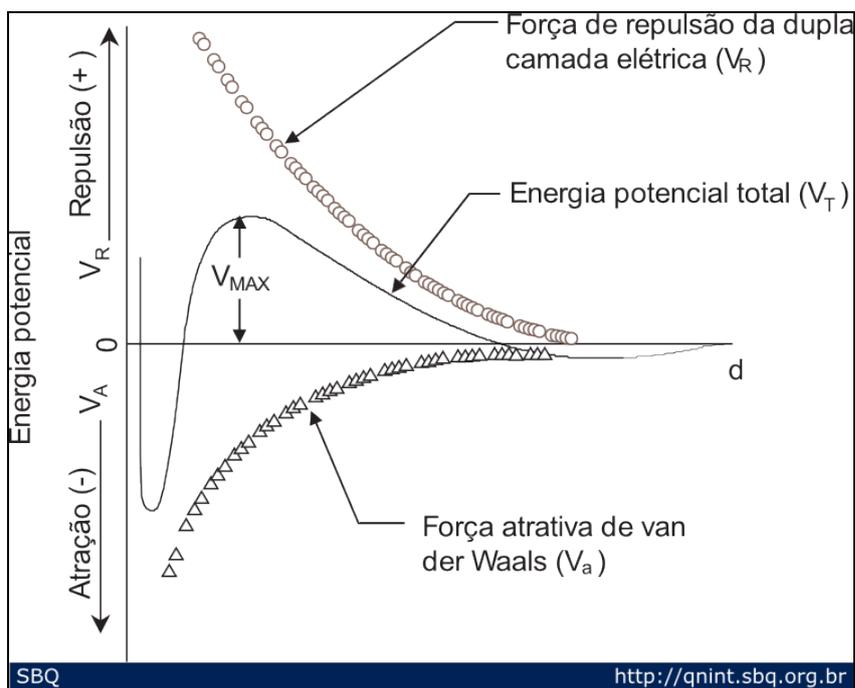
Figura 2 - Esquema da distribuição de cargas na vizinhança de uma partícula carregada e os respectivos potenciais associados à dupla camada elétrica na interface sólido-líquido.



No entanto, essa energia de repulsão entre as partículas não garante a estabilidade das partículas dispersas. Por isso, na prática, dispersões coloidais podem agregar-se e os agregados sedimentam-se rapidamente, como por exemplo, no caso da dispersão de argila em água. As interações atrativas de curto alcance de van der Waals induzem à agregação do sistema à medida que as superfícies das

partículas se aproximam umas das outras. Essas forças de curto alcance são as mesmas provenientes da polarização de átomos e moléculas (dipolos) constituintes dos sólidos dispersos no meio polar que separa as partículas. Portanto, a energia total de interação (V_T) é a soma resultante das energias de repulsão (V_R) e de atração (V_A) indicada na Figura 3.

Figura 3 - Energia potencial (V) de interação partícula-partícula em função da distância (d) de separação entre duas partículas coloidais.



Esta é base da teoria DLVO, desenvolvida independentemente por Derjaguin e Landau e Verwey e Overbeek, no final da década de 40, para explicar a estabilidade cinética coloidal. A partir dos modelos e da formulação dessa teoria, o estudo dos colóides passou a ser considerado com maior rigor científico (LICÍNIO; DELAYE, 1987).

3.2.6 Potencial Zeta

O Potencial zeta é utilizado para avaliar a estabilidade e a tendência à floculação de sistemas coloidais, uma vez que pode ser considerado um parâmetro razoável para medir a magnitude das interações repulsivas entre partículas coloidais. A medida do potencial zeta, ou potencial eletrocinético, corresponde à

determinação da carga eletrostática superficial de pequenas partículas sólidas dispersas em água (colóide). A maioria dos colóides na natureza tem carga negativa, e a magnitude dessa carga determina a estabilidade do colóide (DI BERNARDO, 1993).

3.3 PROCESSOS DE TRATAMENTO

A qualidade da água tem sido comprometida desde o manancial, pelo lançamento de efluentes e resíduos, o que exige investimento nas estações de tratamento e alterações na dosagem de produtos para se garantir a qualidade da água na saída das estações. No entanto, tem-se verificado que a qualidade da água decai no sistema de distribuição pela intermitência do serviço, pela baixa cobertura da população com sistema público de esgotamento sanitário, pela obsolescência da rede de distribuição e pela manutenção deficiente, entre outros (BRASIL, 2006).

De acordo com Tucci (2006) “na medida em que o desenvolvimento urbano aumenta, envolve duas atividades conflitantes: crescimento da demanda de água com qualidade e a degradação dos mananciais por contaminação de resíduos urbanos e industriais” No Império Romano, os aquedutos foram construídos para trazer água de qualidade de locais distantes, pois que a água do rio Tibre estava contaminada, continuam a serem repetidos os erros passados, pois que, a cidade de São Paulo importa água de outros municípios já que tem os mananciais mais próximos impróprios para produção de água segura para o consumo humano.

A água potável de boa qualidade é fundamental para a saúde e o bem estar humano. Entretanto, a maioria da população mundial ainda não tem acesso a este bem essencial. Mais do que isto, existem estudos que apontam para uma escassez cada vez mais acentuada de água para a produção de alimentos, desenvolvimento econômico e proteção de ecossistemas naturais. Para exercer tais atividades, especialistas estimam que o consumo mínimo de água per capita deva ser de pelo menos 1000 m³ por ano. Cerca de 26 países, em sua maioria localizados no continente africano, já se encontram abaixo deste valor. Com o rápido crescimento populacional, acredita-se que inúmeras outras localidades deverão atingir esta categoria no futuro próximo. Várias regiões do planeta (Pequim, Cidade do México, Nova Deli e Recife, no Brasil) estão acima desse valor apenas devido à exploração de águas subterrâneas (NEBEL; WRIGHT, 2000). O Brasil é um país privilegiado em

relação aos recursos hídricos, possuindo cerca de 8% da água doce disponível no planeta (CARDOSO, 2007).

A escassez e o comprometimento da qualidade da água são responsáveis por uma série de doenças como a cólera, a dengue, a febre tifóide, a malária, a hepatite infecciosa, disenterias, entre outras. Alguns estudos apontam as doenças veiculadas pela água como responsáveis por 65% das internações pediátricas na rede pública (FALCÃO; OLIVEIRA, 2004).

Segundo Brasil (2005), a Resolução CONAMA nº 357/2005 fixa parâmetros físicos, químicos e biológicos para águas doces, salobras e salinas e estabelece que as águas pertencentes a classe 2 possam ser destinadas: ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional. E ainda segundo esta Resolução que estabelece Padrões de Lançamentos de Efluentes cita em seus artigos que: Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis; É vedado, nos efluentes, o lançamento dos Poluentes Orgânicos Persistentes-POPs mencionados na Convenção de Estocolmo, ratificada pelo Decreto Legislativo nº 204, de 7 de maio de 2004; e Nas águas de classe especial é vedado o lançamento de efluentes ou disposição de resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, industriais e de quaisquer outras fontes poluentes, mesmo que tratados.

Algumas condições de lançamento de efluentes segundo CONAMA nº 357/2005:

pH entre 5 a 9;

Temperatura: inferior a 40°C;

Materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

Ausência de materiais flutuantes.

3.3.1 A água na indústria

Para Toledo (2004), até 2025, as indústrias serão responsáveis por 24% do consumo mundial de água. Em torno de 2 bilhões de toneladas de lixo/dia são

atirados em rios, lagos e riachos. As indústrias despejam de 300 a 500 milhões de toneladas de metais pesados e outros dejetos nas águas. Estima-se que em 2025, haverá um aumento de 50% no consumo de água nos países em desenvolvimento e de 18% nos países desenvolvidos.

A água na indústria pode ter várias aplicações (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2004), sendo elas:

Matéria-prima: Em que a água é incorporada ao produto final, podem ser citadas como exemplo indústrias de bebidas, cosméticos, conservas, entre outras. Nestas aplicações, o grau de qualidade da água pode variar bastante, podendo-se admitir características equivalentes ou superiores às da água para o consumo humano.

Uso como fluido auxiliar: Para preparação de soluções químicas, reagentes químicos ou em operações de lavagem. O grau de qualidade da água utilizada, da mesma forma quando utilizada como matéria-prima depende do processo a que se destina.

Uso para geração de energia: A água é utilizada em estado natural, podendo ser utilizada a água bruta de um rio, lago ou outro sistema de acúmulo, tomando cuidado para que materiais como detritos e substâncias agressivas não danifiquem os dispositivos do sistema.

Uso como fluido de resfriamento e aquecimento: Aqui a água é aquecida, principalmente na forma de vapor, para remover o calor de misturas reativas que exijam resfriamento devido à geração de calor já que a elevação da temperatura pode comprometer o desempenho do sistema e danificar os equipamentos.

Transporte e assimilação de contaminantes: É o uso da água em instalações sanitárias, na lavagem de equipamentos e instalações ou ainda para a incorporação de subprodutos sólidos, líquidos ou gasosos gerados por processos industriais.

Quando a água é empregada para a limpeza de equipamentos, é exigido um elevado grau de pureza, pois alguns processos em questão não toleram a presença de outras substâncias químicas ou microorganismos. Isso é bastante comum em indústrias de química fina, farmacêutica, fotográfica, entre outras, a Tabela 2 apresenta alguns padrões de qualidade exigida por varias indústrias.

Tabela 2 – Requisitos de qualidade para água de uso industrial.

Parâmetros	Tipos de indústria						
	Papel e Celulose			Química	Carvão e petróleo	Têxtil	Cimento
	Polpa mecânica	Polpa química parda	Polpa química branqueada				
Sulfato (mg/L)				100			
Alcalinidade (mg/L)					125		400
SDT (mg/L)				1000	1000	100	600
SST (mg/L)		10	10	5	10	5	500
Cor	30	30	10	20		5	
pH	6-10	6-10	6-10	6,2-8,3	6-9		6,5-8,5

Fonte: CROOK, 1990.

Vários setores industriais apresentam um considerável consumo de água, além disso geram grande quantidade de efluentes. Nesse sentido, pode-se observar que diferentes tipos de atividade industrial apresentam demanda hídrica e geração de efluentes com características próprias (MIERZWA; HESPANHOL, 2005) que merecem destaque:

Indústria têxtil: Avalia-se que a indústria têxtil consome 15% de toda a água industrial do mundo, perfazendo um total da ordem de 30 milhões de m³ ao ano.

Frigoríficos: O efluente aquoso gerado pelos frigoríficos é caracterizado por elevados DBO (demanda bioquímica de oxigênio), sólidos suspensos e graxos. As altas taxas de impurezas somadas com a grande formação de lodo obrigam à utilização de processos anaeróbios, como lagoas.

Curtumes: O uso da água está na fase do remolho que tem como objetivo umedecer o couro.

Papel e celulose: A água é inicialmente usada na lavagem de toros, sendo contaminadas por lignina e celulose.

Açúcar e álcool: Este tipo de indústria destaca-se pelo grande volume de água utilizado.

Cervejarias: A cerveja é fabricada a partir do mosto resultante do cozimento do malte e do lúpulo. Como indústria de bebida, consome grandes quantidades de

água. Da mesma maneira, grande quantidade de água é liberada, seja por lavagens de equipamentos, por centrífugas ou por separação das leveduras.

Conservas: As etapas para a fabricação de conservas que utilizam água são lavagens de matérias primas, limpeza dos equipamentos, vapor para a esterilização e cozimento.

3.3.2 Tipos de tratamento

Existem dois conjuntos de técnicas para o tratamento das águas para o uso industrial, sendo: o das técnicas convencionais e o das técnicas específicas. As técnicas convencionais são as mesmas utilizadas pelo sistema de abastecimento público, onde esta sendo mais detalhada abaixo promove a adequação das características físicas, químicas e biológicas da água a padrões estéticos, econômicos e de higiene, citando o processo de coagulação, floculação e sedimentação. As técnicas específicas permitem adequar a água a usos industriais mais selecionados, como processos de Abrandamento pela rota térmica, de Precipitação Química com condicionamento de fosfatos e de troca iônica; de Degaseificação; e de Remoção de Sílica gel, um das finalidades dessas técnicas de tratamento da água na indústria é para o reuso (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

O reuso da água favorece a redução da demanda sobre os mananciais, pela possibilidade de substituição da água de qualidade superior (potável, por exemplo) por outra qualidade inferior, que seja compatível com o uso específico. Este procedimento conceitua-se como substituição de fontes. Desta forma grandes volumes de água podem ser poupados, utilizando-se água de efluentes tratados para o atendimento de demandas cujas finalidades podem prescindir de água potável. Sua conservação está intimamente ligada a interação dos sistemas de abastecimento, esgotamento e drenagem urbana (MARON, 2006).

Vários setores industriais apresentam um considerável consumo de água, além de gerarem grande quantidade de efluentes, que necessitam de tratamento. As técnicas mais utilizadas para o tratamento dos efluentes são: neutralização, filtração e centrifugação, precipitação química, oxidação ou redução química, coagulação e sedimentação ou flotação, tratamento biológico, adsorção com carvão ativado, troca iônica, processos de separação térmica e stripping ou extração.

3.3.3 Tecnologia de tratamento

Tratamento em ciclo completo

Erroneamente denominado de tratamento convencional, no tratamento em ciclo completo a água bruta geralmente é coagulada com um sal de alumínio ou de ferro no mecanismo da varredura, no qual ocorre formação predominante de precipitados do metal do coagulante, aprisionando as impurezas. Esse fenômeno acontece na unidade de mistura rápida, a qual pode ser hidráulica ou mecanizada, dependendo da vazão a ser tratada, da variação da qualidade da água bruta e, principalmente, das condições disponíveis para operação e manutenção. Em seguida, a água coagulada é submetida a agitação lenta durante certo tempo até que os flocos alcancem tamanho e massa específica suficientes para que sejam removidos por sedimentação nos decantadores ou por flotação nos flotadores.

A floculação pode ser realizada em unidade mecanizada ou hidráulica. A necessidade de variação da intensidade na agitação, que é função da qualidade da água bruta, indica a adoção de unidades mecanizadas. Entretanto, sempre que possível, deve-se empregar a floculação hidráulica. Os decantadores podem ser convencionais ou de alta taxa; os primeiros são grandes tanques, de escoamento horizontal ou vertical, enquanto nos últimos são empregados módulos de plástico ou placas planas paralelas. A água clarificada, produzida nos decantadores ou flotadores, é finalmente filtrada em unidades com escoamento descendente, contendo materiais granulares com granulometria apropriada, geralmente areia ou antracito e areia. Dependendo da vazão de água a ser tratada e do número de unidades filtrantes, deve-se optar pela filtração com taxa declinante variável. Evitando-se o uso de equipamentos de controle de nível ou de taxa. A lavagem do meio filtrante é geralmente realizada com água ou com ar e água (DI BERNARDO, L; DI BERNARDO, A; CENTURIONE, 2002).

3.4 COAGULAÇÃO FLOCULAÇÃO E SEDIMENTAÇÃO

Coagulação e a floculação consistem na clarificação das águas pelo arraste do material finamente dividido em suspensão por agentes coagulantes. Apesar da possibilidade de coagulação e floculação somente com os sais de alumínio ou ferro,

existem casos em que é necessário o uso de auxiliares de coagulação e floculação, os chamados polieletrólitos, que podem ser sintéticos ou naturais (BARROS; NOZAKI, 2002).

Os coagulantes e floculantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos coagulantes químicos, especificamente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodo (CARVALHO, 2008).

Os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração são combinados em série para remover particulados da água. É muito importante reconhecer que o tratamento convencional faz muito mais, pois a concentração de poluentes (inorgânicos, não vivos e biológicos) é, em muitas circunstâncias, maior no sólido em suspensão do que na água. Conseqüentemente, o tratamento de água para remoção de particulados também acompanha a remoção de muitas substâncias prejudiciais da água. As argilas são a maior porção da “turbidez” na água bruta usada como manancial e, com exceção do amianto, não são responsáveis por efeitos prejudiciais à saúde humana (SANKS, 1982).

Existe, no entanto, muita possibilidade de que exerçam efeito importante na saúde, devido à adsorção, transporte e liberação de vírus, bactérias e substâncias inorgânicas e orgânicas tóxicas, como PCB e DDT. Portanto, a remoção dos particulados está conjugada à remoção destas substâncias de risco à saúde. A coagulação química é usada antes da filtração para desestabilizar as partículas, sendo esta etapa o fator mais importante na determinação da eficiência da filtração rápida. Sem próprio pré-tratamento químico, o filtro trabalha como simples retentor de impurezas com dimensão maior que os poros, não sendo barreira efetiva para microrganismos patogênicos. O polímero sintético e/ou natural pode ser usado como auxiliar de floculação para produzir flocos com maior velocidade de sedimentação, ou ainda produzir maior eficiência na filtração direta com a coagulação química, com uso de coagulante metálico e de auxiliar de filtração, para melhorar a aderência dos micro-flocos nos grãos de areia e a resistência às forças de cisalhamento (LE CHEVALIER; AU, 2004).

De acordo com Gregory e Duan (2001), os sais hidrolisados com base no alumínio e no ferro têm sido rotineiramente usados desde o início do século XX como coagulantes em tratamento de água e atuam de forma vital na remoção de muitas impurezas. Estas incluem partículas inorgânicas, como argilas e

microrganismos patogênicos e matéria orgânica dissolvida. Apesar de ser conhecido o modo de ação dos coagulantes metálicos, ainda existem incertezas, principalmente com relação à natureza das espécies ativas, à regra de dissolução dos sais na água e à resistência dos agregados formados, bem como quanto à ruptura destes, assim como sobre o mecanismo de ação dos coagulantes pré-hidrolisados.

3.4.1 Coagulação

Uma grande variedade de substâncias encontradas em águas naturais e poluídas, que provocam turbidez e cor, não é capaz de sedimentar naturalmente, devido ao tamanho microscópico e da baixa velocidade de sedimentação da matéria orgânica natural, das partículas de argilas e dos microrganismos por exemplo. O objetivo da coagulação é desestabilizar a suspensão coloidal hidrófoba e hidrófila, principalmente, tanto em águas de mananciais, quanto em esgotos. A coagulação ocorre quando a barreira da energia de DLVO ou Barreira de Forças Opostas é eliminada eficazmente. Esta redução da barreira da energia é denotada também por desestabilização, após a redução ou eliminação da barreira de energia, há necessidade de agitação controlada, a fim de que ocorram colisões entre as impurezas, possibilitando aglomeração e formação de partículas maiores. Para evitar a ruptura dos flocos, a intensidade de mistura deve ser escalonada. A coagulação pode ser representada por dois fenômenos básicos (NOGUEIRA et al, 2010):

Fenômenos Químicos

Reação do coagulante metálico com a água com formação de espécies hidrolisadas com a positiva, que dependem do pH final da mistura e da concentração do metal, mas que realizam e ou adsorvem, assim como formam precipitados que adsorvem os colóides. Os fatores determinantes do rumo ou do mecanismo da coagulação são basicamente o pH da coagulação e a dosagem do coagulante metálico.

Fenômenos Físicos

Transporte das espécies hidrolisadas para estabelecer contato com as impurezas presentes na água (processo muito rápido, com duração de 0,1 a 100 segundos). Depende das demais características (pH, temperatura, concentração de coagulante e impurezas, etc.) e provoca a redução do potencial zeta dos colóides. Estas etapas são realizadas na mistura rápida, e são denominadas de coagulação. Destes dois processos em diante, após a redução ou eliminação da barreira de energia, há necessidade de agitação controlada, a fim de que ocorram colisões entre as impurezas, possibilitando aglomeração e formação de partículas maiores. Para evitar a ruptura dos flocos, a intensidade de mistura deve ser escalonada. Esta é denominada floculação.

A coagulação depende do pH, da alcalinidade, da cor verdadeira, da turbidez, da temperatura, da mobilidade eletroforética, da força iônica, dos sólidos dissolvidos, da dimensão e da distribuição dos tamanhos das partículas no estado coloidal e em suspensão. Os coagulantes podem ser classificados entre os de comportamento ácido (sulfato de alumínio, sulfato ferroso, cloreto férrico e sulfato férrico), básico (aluminato de sódio) e com basicidade policloreto de alumínio (PACl) (LIMA, 2007).

Mecanismos de coagulação

A coagulação ocorre quando a barreira da energia de DLVO é eliminada eficazmente. Esta redução da barreira da energia é denotada também por desestabilização. As funções preliminares do coagulante são a adsorção e a neutralização da carga, frequentemente em mais de um colóide, dando forma a uma ponte entre as partículas coloidais, que formam os flocos. O processo de coagulação compreende quatro fenômenos físico-químicos:

Compressão da Dupla Camada;

Adsorção e Neutralização da Carga;

Desestabilização por Varredura ou Agregação dos Colóides nos Precipitados;

Adsorção e Formação de Pontes ou Ligação Interpartículas.

Compressão da camada difusa

De acordo com Arboleda (1972), o modelo de Gouy-Stern da coagulação é consequência da compressão da dupla camada, por saturação com eletrólitos na camada difusa ou de Gouy. Consiste na introdução de um eletrólito na solução coloidal que aumenta a concentração de cargas na camada difusa (dupla camada de Stern) e que, ao comprimir a dupla camada, reduz a esfera de influência das partículas, apesar de não necessariamente ocorrer à neutralização da carga da partícula coloidal, mas assim como ocorre redução do potencial zeta, também a barreira de energia será comprimida e com quantidade suficiente de eletrólitos é possível à coagulação.

Para Di Bernardo e Dantas (2005), concentrações elevadas de íons positivos e negativos na água acarretam um acréscimo no número de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, tem, necessariamente, seu volume reduzido (diminuição da espessura), de modo tal que as forças de van der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática.

A compressão da dupla camada envolve a adição de grandes quantidades de um eletrólito indiferente (cloreto de sódio). A indiferença é decorrente do eletrólito não adsorver o colóide e permanecer com a sua identidade. Esta mudança na concentração iônica comprime a dupla camada em torno do colóide, com redução da barreira de energia, sendo denominada saturação por fora com sal metálico (RAVINA, 1993).

Um íon bivalente é cerca de vinte a trinta vezes mais eficiente que um monovalente, e um trivalente é cerca de cem vezes mais eficiente que um bivalente. Em geral, a compressão da dupla camada não é uma técnica adequada à coagulação usada no tratamento de água, mas pode ter aplicação no tratamento de esgoto industrial, caso o efluente contenha contra íons bivalentes ou trivalentes (PIVELI, 2001).

Adsorção e neutralização de cargas

De acordo com Faust e Aly (1998), pesquisadores têm compilado recentemente considerável quantidade de informação de vários sistemas coagulante-colóide, indicando que outras interações, além das eletrostáticas são

responsáveis pela desestabilização. Por exemplo, uma dosagem de 6×10^{-5} mol/L do dodecilamônio ($C_{12}H_{25}NH_3^+$) é suficiente para coagular certa concentração de solução de iodeto de prata, enquanto a quantidade necessária do íon sódio para coagular igual quantidade do íon negativo é de 10^{-1} mol/L, o que, para estes autores, sugere um mecanismo de coagulação em adição à interação eletrostática, pois, conforme a tabela anterior, ambos os coagulantes teriam igual poder relativo, já que a valência de ambos é a unidade.

A desestabilização por adsorção ocorre em tempo muito reduzido, portanto, os íons hidrolisados de alumínio devem estar disponíveis. A mistura rápida deverá ser feita com muita energia e durante tempo curto. Os produtos da hidrólise do alumínio que podem ser adsorvidos ficam na água apenas durante alguns segundos (0,0001 a 1s). Esse tipo de coagulação é recomendado para uma das tecnologias de tratamento com filtração direta. Para Gregory e Duan (2001), a desestabilização da partícula coloidal carregada negativamente ocorre devido à adsorção específica de espécies catiônicas da solução. Sendo assim, os produtos da hidrólise dos sais de Al e Fe, que são catiônicos, podem coagular através da neutralização da carga dos colóides.

A neutralização da carga envolve a adsorção de um coagulante positivamente carregado na superfície do colóide com carga negativa, que, resulta em carga líquida próxima a zero. A neutralização é a chave da otimização do tratamento, precedendo a filtração direta em meio granular. Porém somente a neutralização da carga não produzirá os macro-flocos, necessários na operação de sedimentação ou flotação, sendo oportuna a coagulação com dosagem maior do coagulante no mecanismo da varredura ou ainda a aplicação de auxiliar de floculação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

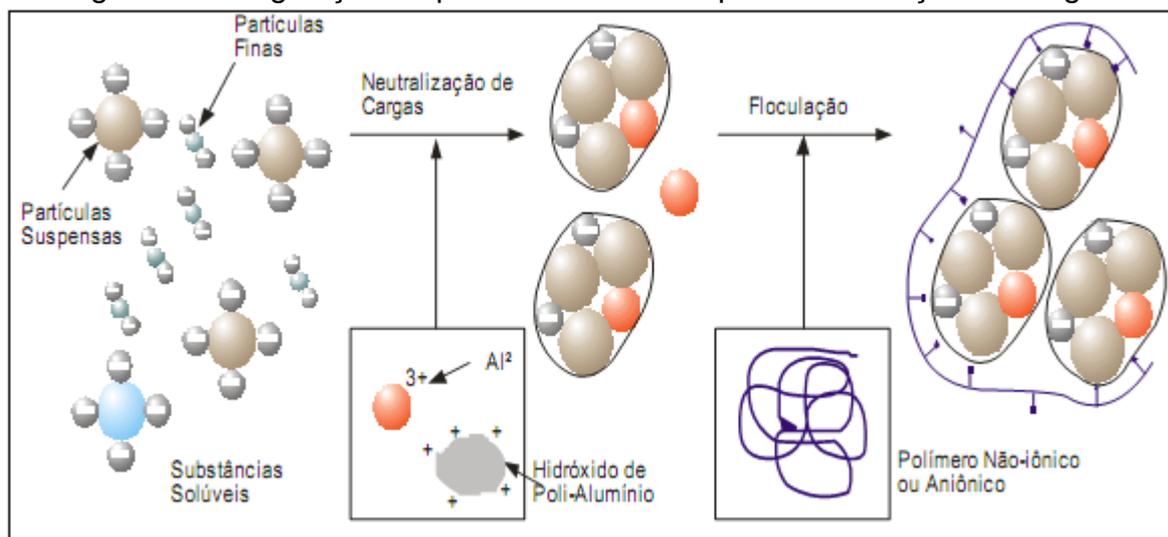
Sendo a neutralização o mecanismo predominante da desestabilização, é possível estabelecer relação estequiométrica entre a concentração de partículas e a dosagem ótima do coagulante. Para baixa concentração de partículas, será necessária baixa dosagem. Sob estas condições, a eficiência da coagulação será elevada na tecnologia da filtração direta e reduzida na tecnologia de tratamento da água do tipo completo ou convencional, pois a velocidade de sedimentação destas partículas é baixa. A técnica da filtração direta foi muito divulgada no Brasil.

Grande quantidade do coagulante pode carregar positivamente as partículas, provocando à re-estabilização das partículas coloidais como colóides positivos. O

resultado é um sistema mal coagulado, devido ao excesso do coagulante metálico ou orgânico (LIMA, 2007).

A Figura 4 apresenta a coagulação no mecanismo de adsorção e neutralização, onde inicialmente o produto da hidrólise do coagulante (Al^{3+}) é adsorvido na superfície das partículas coloidais e na sequência neutraliza a carga dos colóides negativos.

Figura 4 - Coagulação de partículas coloidais por neutralização de cargas.



Fonte: KAMIRA, 2003.

Varredura

Deve-se considerar que o precipitado de hidróxido carregado que neutraliza as partículas, pode ser tanto na forma de precipitação na superfície do colóide, como por adsorção do precipitado do hidróxido coloidal no corpo da solução transportada, sendo este processo, de acordo com Gregory e Duan (2001), denominado modelo de neutralização da carga pelo precipitado, com a sigla PCN em inglês. Esta forma de coagulação, com considerável incremento na remoção de partículas já desestabilizadas por neutralização devido ao aumento da concentração de sólidos, tem sido conhecida como mecanismo de varredura desde 1972, quando denominada por O'Melia.

De acordo com MWH (2005), este mecanismo predomina no tratamento da água em que se mantém o pH de coagulação entre 6 e 8, onde é usado o coagulante metálico de Al e Fe, com concentração de saturação que excede a de formação do hidróxido amorfo. No caso do hidróxido de alumínio, o ponto isoelétrico

é no pH em torno de 8. Em pH mais baixo, o precipitado terá carga positiva e estará apto a neutralizar a carga negativa das partículas na água. Amirtharajah e Di Bernardo denominam esta coagulação de mecanismo combinado de neutralização e varredura. Pode ser usado para águas com turbidez moderada e baixa cor.

Adsorção e formação de pontes

A adsorção é realizada por compostos orgânicos sintéticos ou naturais, e também por compostos inorgânicos, como o PACl (cloreto de polialumínio) que é caracterizado por grandes cadeias moleculares, que tem sítios ionizáveis ao longo da cadeia, formando “pontes” ou ligações entre os colóides. Os polímeros podem ser classificados como:

- ✓ Catiônicos: íon dialil-dimetil amônia, polietileno imina, polidialildimetil cloreto de amônia;
- ✓ Aniônicos: poliacrilato de sódio, ácido acrílico, poliestireno sulfonato de sódio;
- ✓ Não iônicos: acrilamida, polivinil álcool, poliacrilamida;
- ✓ A ponte, ou ligação entre polímeros, é complexa e, de acordo com MWH (2005), ainda não foi descrita de forma analítica, sendo usados os modelos de O’Melia de 1972, que caracterizaram as cadeias poliméricas como sítios disponíveis para agregar partículas, com formação de pontes ou ligações entre as partículas estáveis que são desestabilizadas.

Sendo a ligação interpartículas um fenômeno de adsorção, em consequência, a dosagem ótima de polímeros é proporcional à concentração de partículas coloidais na solução. Estes complexos poliméricos desestabilizam as partículas coloidais quando em dosagem apropriada. Em caso contrário, com dosagem inferior ou superior à adequada, o polímero poderá enroscar-se no colóide e não produzir a desestabilização. As forças que agem são: Coulômbicas (polímero catiônico e partícula negativa); Interação dipolo-dipolo; Ligação de hidrogênio; Atrativa de Van der Waals. A formação de pontes entre partículas coloidais ocorre quando um coagulante faz a ligação ou união entre os diversos colóides, capturando e juntando-os. A formação de pontes é frequentemente usada em conjunto com a neutralização da carga, fazendo crescer rapidamente os flocos resistentes às forças de cisalhamento que provocam a ruptura. Por exemplo, quando o sulfato de alumínio ou

um polímero catiônico de baixo peso molecular é adicionado, inicialmente para neutralizar ou reduzir a carga através da mistura rápida com formação de microflocos, para maximizar o desempenho, adiciona-se uma pequena quantidade de polímero com peso molecular elevado, frequentemente aniônico, para formação de ponte entre os micro-flocos (LIMA, 2007).

O fato de o polímero que forma as pontes ser carregado negativamente não é significativo, pois os colóides pequenos estão neutralizados e são capturados como microflocos. Devido ao desenvolvimento de distintos mecanismos e reações que operam no processo de coagulação, a seleção do coagulante e da dosagem mais adequados é determinada empiricamente em reator estático ou Jar Test ou ainda em unidades piloto.

Os coagulantes pré-hidrolisados inorgânicos e os polieletrólitos orgânicos, naturais e sintéticos, têm o potencial de formar pontes interpartículas. O peso molecular mais elevado significa uma molécula mais longa, com formação mais eficaz de pontes interpartículas. Existe uma taxa de agregação máxima para adsorção de polímero não iônico com alto peso molecular, e devem-se ter partículas coloidais com baixa carga superficial. Os polímeros catiônicos de alta densidade de carga são mais eficientes na neutralização das partículas, em comparação aos catiônicos com baixa densidade de carga (RICHTER, 2009).

A aglomeração dos colóides é necessária para que seja factível a remoção das partículas coloidais por sedimentação quando esta operação é realizada no tratamento do tipo completo ou convencional, sendo a velocidade de sedimentação para partículas esféricas.

3.4.2 Floculação

Após a coagulação, é necessária agitação relativamente lenta, com o objetivo de proporcionar encontros entre as partículas menores para formar agregados maiores ou flocos. Com o aumento do tamanho dos flocos, as forças de cisalhamento podem causar sua ruptura. A agregação e a ruptura ocorrem simultaneamente, conduzindo a uma condição de distribuição de tamanho dos flocos (DI BERNARDO, 1993). Formação de flocos, sendo obtida pela ação de materiais de alto peso molecular (amido de batata e polieletrólitos em geral) agindo como polímero (FAUST; ALY, 1998). A interação entre as partículas é devido à ação de

três mecanismos: Movimento Browniano; Flocculação Ortocinética; Sedimentação. A eficiência da unidade de flocculação depende do desempenho da unidade mistura rápida, a qual é influenciada por fatores como tipo de coagulante, pH de coagulação, temperatura da água, concentração e idade da solução de coagulante, tempo (T) e gradiente de velocidade (G) de mistura rápida, tipo e geometria do equipamento de flocculação e qualidade da água bruta .

A flocculação pode ser realizada em unidades hidráulicas ou mecanizadas. As unidades hidráulicas podem ser do tipo chicanas com escoamento vertical (ascendente e descendente) ou horizontal, de meio granular fixo (geralmente pedregulho) ou de meio granular expandido (esferas de material com baixa massa específica), de malhas localizadas em canais etc. Nas unidades mecanizadas, os agitadores podem ser de eixo vertical ou horizontal e os rotores podem ser de paletas paralelas ou perpendiculares ao eixo, ou do tipo turbina. Em geral, tanto no caso da flocculação hidráulica quanto da mecanizada, são utilizados canais ou câmaras em série (normalmente superior a 3), para que seja possível iniciar a flocculação com gradiente de velocidade mais elevado e reduzi-lo no final dessa operação. Para cada ETA, há uma combinação de G e T no equipamento de *Jar Test* ou de Floteste que reproduz aproximadamente essa operação em escala real. Os parâmetros G e T dependem de vários fatores, destacando-se o mecanismo de coagulação, tipo de coagulante, qualidade da água bruta, uso de auxiliares etc. Em geral, o valor de G, varia de 10 a 60 s⁻¹, enquanto T pode resultar entre 10 e 40 min (DI BERNARDO, L; DI BERNARDO, A; CENTURIONE, 2002).

3.4.3 Sedimentação

A sedimentação é o fenômeno físico em que as partículas em suspensão apresentam movimento descendente em meio líquido de menor massa específica, devido à ação da gravidade, enquanto a flotação caracteriza-se pela ascensão das partículas suspensas e pela aderência de microbolhas de ar às mesmas, tomando as de menor massa específica que o meio onde se encontram (DI BERNARDO, L; DI BERNARDO, A; CENTURIONE, 2002).

A ocorrência de sedimentação ou de flotação das partículas suspensas propicia a clarificação do meio líquido, ou seja, operação de separação das fases sólida e líquida (DI BERNARDO, 1993).

A decantação pode ser convencional, em unidades de escoamento horizontal, de manto de lodos, em unidades de escoamento vertical ascendente, ou de alta taxa (em unidades providas de placas ou de módulos tubulares). A flotação pode ser realizada em unidades retangulares ou cilíndricas, sendo o efluente clarificado encaminhado aos filtros. Porém, ultimamente, tem sido mais comum o projeto e a construção de novas ETAs com a técnica da floto-filtração, ou seja, há clarificação e filtração na mesma unidade. Independentemente do tipo de unidade de decantação ou de flotação, ocorrem diversos fatores que reduzem a eficiência da sedimentação ou da flotação, destacando-se a má distribuição da vazão total entre unidades em paralelo e, na seção transversal de uma mesma unidade ou na área coberta por módulos tubulares ou placas, coleta desuniforme da água clarificada, curto-circuitos hidráulicos, ação de ventos, formação de correntes de origem térmica ou de densidade, equipamento e método inadequado de extração de lodo etc. A avaliação hidrodinâmica (especialmente de curto-circuitos) de uma unidade de decantação ou de flotação pode ser realizada utilizando-se traçadores (por exemplo, cloreto de sódio), podendo-se determinar zonas mortas e porcentagem do escoamento com mistura completa ou com escoamento do tipo pistão (DI BERNARDO, L; DI BERNARDO, A; CENTURIONE, 2002).

Devido a fatores adversos a sedimentação das partículas nos decantadores ou flutadores, deve-se relacionar a velocidade de sedimentação (V_s) no ensaio de *Jar Test* ou a velocidade de flotação (V_f) no ensaio de floteste (para as condições de mistura rápida e de floculação previamente conhecida) com a turbidez (ou cor aparente, ou o número de algas etc.) remanescente do sobre ou subnadante, possibilitando que seja obtida na unidade em escala real eficiência de remoção semelhante à observada nos reatores estáticos, com correspondente velocidade de sedimentação ou de flotação. Em geral o valor de V_s ou de V_f usado no equipamento de laboratório deve ser maior que aquele observado nas unidades em escala real, pois nestas existem os efeitos negativos anteriormente mencionados. Cabe ao executor dos ensaios verificar, para diferentes vazões de funcionamento da ETA, qual valor de V_s ou de V_f deve ser adotado sempre que for necessária a execução de ensaios em equipamentos de laboratório (*Jar Test* ou Floteste).

Os decantadores convencionais geralmente são projetados para taxas de escoamento superficial (definidas a partir do valor de V_s obtido de ensaios em *Jar Test* compreendidas entre 15 a 60 m.d^{-1} , com tempos médios de detenção de 2 a 4

h. Os decantadores de alta taxa também são projetados a partir do valor teórico de V_s definido em *Jar Test* e da trajetória percorrida pela partícula crítica no tipo de duto a ser usado (dimensões dos dutos – comprimento, largura e altura –, no caso de módulos tubulares, e distância entre placas e seu comprimento, no caso de placas planas paralelas). É conveniente ressaltar que, incorretamente, alguns projetistas referem-se ao parâmetro taxa virtual de escoamento superficial em decantadores de alta taxa, definida como a vazão afluyente à unidade dividida pela área coberta pelos módulos ou placas planas paralelas. Para os mesmos valores de vazão e de área, as dimensões dos dutos ou das placas podem diferir consideravelmente, de forma que o comportamento hidráulico dos decantadores resultarão totalmente diferentes (DI BERNARDO, L; DI BERNARDO, A; CENTURIONE, 2002).

3.4.4 Polímeros naturais e sintéticos

Polímeros têm sido utilizados em tratamento de água desde o início da década de 50, principalmente na coagulação e floculação. Os polímeros não iônicos e os aniônicos são usados como auxiliares de floculação em conjunto com o coagulante primário, sendo a maior vantagem do uso destes auxiliares o desenvolvimento dos flocos mais resistentes às forças de cisalhamento possibilitando floculação com gradientes mais elevados, com formação de flocos mais densos e com maior velocidade de sedimentação (NOGUEIRA et al, 2010).

São adicionados após o coagulante, a desestabilização da partícula e o tempo necessário para a desestabilização, sendo este calculado em função da temperatura da água e do tipo de partícula. Portanto, é variável o intervalo entre a coagulação e a aplicação do auxiliar de floculação. Como regra geral, Wagner e Pinheiro (2001) recomendam que seja de aproximadamente 4 minutos, que corresponde à etapa de floculação. Porém, este tempo deve ser pesquisado através de *Jar Test*, determinando-se nestes ensaios a resistência, o tamanho e a velocidade de sedimentação dos flocos.

Os polieletrólitos são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos e podem ser divididos em catiônico, aniônico, não-iônico, de acordo com a carga da cadeia polimérica. Os polímeros não-iônicos não são considerados polieletrólitos, mas são incluídos nesta categoria em função da semelhança de suas aplicações. No

Brasil, em função das características das águas e sólidos suspensos são utilizados os aniônicos e não-iônicos. Em função da floculação é levado em consideração a carga, o peso molecular e o grupo funcional do polímero (CETÉS, 2010).

Os polímeros são usados como auxiliares na floculação e na filtração. O polímero aniônico ou não iônico é usado após o coagulante inorgânico, podendo ser do tipo pré-hidrolizado policloreto de alumínio (PACl), ou não, e associar-se com coagulante orgânico ou polímero catiônico. Os flocos formados com o uso conjunto de coagulante metálico e auxiliar de floculação aniônico têm menor quantidade de água e, conseqüentemente, maior densidade.

Na floculação, a seleção dos polímeros é realizada em função da concentração e da remoção do material particulado no decantador, bem como em relação ao custo de produção da água tratada, no que diz respeito ao uso conjunto do coagulante e do auxiliar de floculação para formação, em menor tempo, de floco mais resistente às forças de cisalhamento. Permite o desenvolvimento de floco compacto, com densidade e velocidade de sedimentação elevadas (LIMA, 2007).

Os polímeros sintéticos podem apresentar risco à saúde dos consumidores, pois não são biodegradáveis, podendo gerar subprodutos (monômeros) ou ser contaminados no processo de produção. Assim, os mesmos vêm sendo substituídos por polieletrólitos naturais, que apresentam menor custo, e não representam risco de danos à saúde humana quando utilizados a longo prazo, visto que muitos destes produtos naturais fazem parte da alimentação humana ou animal (LIMA, 2007).

Dentre os diversos polímeros naturais utilizados como auxiliares de floculação e coagulação, verifica-se o emprego de alguns vegetais, tais como: o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), usado na forma de solução feita a partir do pó seco da vagem pulverizada, ou na forma da mucilagem extraída da vagem (baba de quiabo); a mutamba ou “chico magro” (*Guazuma ulmifolia*), usada também na forma de solução da casca, do fruto e do caule; cacau (*Theobroma cacao*), usado na forma e solução do pó da casca, o amido de milho e mandioca catiônicos estudados por Di Bernardo (2000), para Silva (1999), os taninos podem ser usados como auxiliares de coagulação e floculação, bem como coagulantes, como a moringa oleífera Lam, de acordo com Borba (2001).

Alguns trabalhos realizados com polímeros naturais no tratamento de águas:

Borba (2001) - Viabilidade do uso da Moringa Oleífera Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades.

Inicialmente, através do Jar Test realizou-se inúmeros ensaios de coagulação/floculação com 5 componentes da M. Oleífera, ou seja: a semente integral (A), a polpa da semente (B), a casca da semente (C), a parte interna (DI) e externa (DE) da vagem, para verificar quem apresentava melhor capacidade coaguladora. Posteriormente, com a finalidade de aprofundar o conhecimento sobre essa ação coaguladora da M. Oleífera, se resolveu fazer a extração do óleo, de todos os componentes; (A), (B), (C), (DI) e (DE), usando-se como solvente, para os três primeiros metano, etanol, etanol/água, hexano. Para os 2 últimos a mistura etano/hexano, na proporção de (1.). Dessas extrações foram obtidos 11 farelos (derivados), que com os 5 componentes originais que já se dispunha, deu um total de 16 supostos coagulantes. Todos eles foram testados como coagulante natural para clarificar água in natura. O componente (B) e seus derivados (B1), (B2) e (B3) foram testados também como auxiliar de coagulação e somente (B), foi testado como desinfetante de água potável. O componente (A) e seus derivados apresentaram valores de redução da turbidez e cor, entre 72,0% e 79,7% sendo considerados como coagulantes regulares. O componente (B) apresentou excelentes resultados de redução da turbidez e cor, atingindo a faixa de 90,7% a 97,8% sendo considerado muito bom coagulante. Os derivados de (B) apresentaram valores de redução de 81, 4% a 89,2% em termos de cor e turbidez, sendo considerados como bons coagulantes. Já os componentes (C), (DI), (DE) e seus derivados não apresentaram reduções significativas, ficando num patamar de 7,4% a 25,0 % para turbidez e cor. Apesar, do componente (B) e seus derivados apresentarem um bom resultado quando testados conclui-se que o uso da Moringa Oleífera, como coagulante natural, bem como auxiliar de coagulação é inviável para sistemas comunitários, considerando a grande problemática de obtê-los em quantidades suficientes para operar sistemas desse porte. Paralelamente foram realizados os ensaios bacteriológicos e se verificou que, ela também não é suficiente como bactericida.

Lima (2007) - Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto.

O quiabo, usado com auxiliar de floculação e filtração, foi testado na forma de mucilagem extraída a frio e de solução do pó, obtido após secagem. Os testes com o quiabo em conjunto com o coagulante foram realizados em laboratório, com águas de qualidade e locais distintos, com dosagem tanto na floculação, quanto na filtração, ou seja, em mecanismos de coagulação como a de varredura e a de adsorção e neutralização. Mostraram melhoria da qualidade da água sedimentada ou filtrada, em comparação à dosagem somente do coagulante, inclusive com redução de consumo. O quiabo (*Abelmoschus esculentus*), maduro, rejeitado pelo consumidor deste fruto, é estável, sendo produto apropriado para uso em tratamento de água e de efluentes, pois é polímero aniônico. Portanto, em tratamento com coagulação química deverá ser usado após a aplicação do coagulante metálico ou orgânico, para tornar o floco mais denso, maior e mais resistente às forças que provocam ruptura.

Nogueira et al. (2010) - Sementes de Moringa Oleífera e extrato de Quiabo no tratamento de efluentes urbanos e industriais.

Avaliou-se a eficácia da semente de Moringa oleífera como coagulante natural e o polímero do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) como auxiliar de floculação em água residuária de efluente sanitário. Foram utilizados 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0 gramas de sementes de moringa com casca, seca e moída e 0,5 gramas de quiabo maduro, seco e moído em amostras alternadas. Os ensaios de coagulação e floculação foram realizados em “Jar Test” em seis provas por vez, com três repetições. Foram evidenciadas neste trabalho, por meio de análises físico-químicas, as propriedades da moringa como coagulante natural e as propriedades do quiabo como auxiliar de floculação em efluentes industriais e domésticos e a viabilidade de reuso do mesmo. Os resultados foram obtidos de acordo com a análise prévia e variância da amostra.

LENZ et al. (2011) - Ação de polímero natural, extraído do Cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*), no tratamento de água.

Neste trabalho, desenvolveu-se um polímero natural, a partir do cacto Mandacaru (*Cereus jamacaru*), como auxiliar de coagulação/floculação ao sulfato de alumínio, no tratamento de água. O uso de polímero possibilitou a remoção de turbidez acima

do obtido pelo coagulante metálico, com formação de flocos densos e de fácil decantação. Apesar de o polímero afetar as características físicas da água, devido à solução de extração, não comprometeu a eficiência do processo.

3.4.5 Sulfato de alumínio

O alumínio é o terceiro metal mais abundante da crosta terrestre e, com um total estimado de 8% da sua composição, Não é encontrado no estado livre e sim na forma de óxidos hidratados ou silicatos (DANTAS; GATTI; SARON, 1999). Sendo precedido apenas pelo silício e pelo oxigênio (ROCHOW, 1987).

O sulfato de alumínio líquido tem sido economicamente adotado em muitas estações de tratamento de comunidades que não se encontram muito distantes do fabricante, pois apresenta grau de impurezas bem menor que o granulado em concentrações relativamente altas (da ordem de 45 a 50 %). No Brasil, segundo a EB-2000 (1989), o sulfato de alumínio em estado líquido não deve ser produzido com acidez livre maior que 0,5 % em massa de H₂SO₄, enquanto, nos Estados Unidos, segundo a norma da AWWA (1993), a acidez livre do sulfato de alumínio líquido é objeto de acordo entre o usuário e o fornecedor, o que parece ser lógico quando se consideram, principalmente, a alcalinidade e pH da água bruta.

3.5 DESCRIÇÃO BOTÂNICA DAS AMOSTRAS

QUIABO (*Abelmoschus esculentus*)

Pertencente à família das malváceas o quiabeiro (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) (Figura 5), é uma planta anual, arbustiva, de porte ereto e caule semilenhoso podendo atingir até 3 m de altura. Quando plantada em espaçamentos largos, ocorrem ramificações laterais, sendo essas, menos frequentes quando se aumenta a densidade de plantio (FILGUEIRA, 2000).

De acordo com Krohn (2005) os frutos apresentam de 10-30 cm de comprimento por 2-3 cm de diâmetro, variando desde os cilíndricos aos acanalados longitudinalmente, geralmente com cinco arestas, de coloração verde a branco esverdeado.

Figura 5 - Quiabo (*Abelmoschus esculentus*).



Fonte: Ecologic Station, 2012.

O quiabo encontra no Brasil condições excelentes para o seu cultivo, principalmente no que diz respeito ao clima, sendo popularmente cultivado nas regiões Nordeste e Sudeste. A planta apresenta algumas características desejáveis como ciclo rápido, custo de produção economicamente viável, resistência a pragas e alto valor alimentício e nutritivo (MOTA; FINGER; CASALI, 2000).

ANGICO-VERMELHO (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng)

O angico-vermelho é uma árvore da família Mimosaceae e apresenta expressiva regeneração natural, ocorrendo indiferentemente em solos secos e úmidos; é tolerante a solos rasos, compactados, mal drenados e até encharcados, de textura média a argilosa. Apresenta crescimento de moderado a rápido, podendo atingir, quando em ótimas condições, produtividades de até $25,55 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}$ (CARVALHO, 2003). De acordo Lorenzi (2000), a característica de rápido crescimento a torna interessante para ser aproveitada em reflorestamentos de áreas degradadas. A espécie possui, ainda, outras utilidades, servindo para construção civil, produção de carvão etc. (LORENZI, 2000). O fruto é legume deiscente, rígido, coriáceo, ereto, irregularmente contraído entre as sementes, de superfície glabra e brilhante, de 12-22 cm de comprimento, com 6-12 cm de sementes brilhantes conforme Figura 6.

Figura 6 – Semente de angico-vermelho.



Fonte: Próprio autor.

OLHO-DE-DRAGÃO (*Adenanthera pavonina* L.)

A espécie *Adenanthera pavonina* L. (olho-de-dragão), originária da Ásia tropical, está presente na região Norte do Brasil e pertence à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae. As árvores desta espécie podem apresentar de 15 m a 20 m de altura (FANTI; PEREZ, 2003). É uma espécie pioneira, que apresenta crescimento rápido, o que contribui para o desenvolvimento, sob suas copas, de plantas arbóreas, arbustivas e trepadeiras, que não toleram altas intensidades luminosas (FONSECA; PEREZ, 2003), vagens estreitas, achatadas, marrons, espiraladas quando se abrem, expondo as sementes globosas, achatadas, duras, vermelho-brilhantes (Figura 7).

Figura 7 – Semente de olho-de-dragão.



Fonte: Próprio autor.

3.5.1 Características químicas das amostras

O quiabo (*Abelmoschus esculentus*) apresenta com componentes químicos: vitamina A, vitamina B2 e B6, cálcio, alanina, alfa-tocoferol, arginina, ácido ascórbico (vitamina C), ácido aspártico, glicosídeos, ácido glutâmico, gossipetina, gossipol, histidina, isoleucina, leucina, ácido linolênico, ácido mirístico, ácido oléico, ácido palmítico, ácido pantotênico, pectina, quercetina, riboflavina, amido, ácido esteárico, enxofre (SILVA; CORRÊA; FIRME; NEVES, 2005).

De acordo com Agarwal (2001 e 2003), a composição da mucilagem obtida das sementes do quiabo, é a de um polissacarídeo aniônico, que é usado como floculante, por ser polímero natural, e virtualmente biodegradável. Não é tóxico, é estável e tende a ser intensivamente usado no tratamento de águas de abastecimento, de esgoto doméstico e de efluentes de curtume.

As características químicas do angico-vermelho apresentam em suas folhas: esteróides; alcalóides; flavóides; tapinos e no caule: esteróides; flavonóides; taninos.

Não foi possível encontrar na literatura as características químicas para a semente de olho-de-dragão. Os estudos com essa semente foram realizados em termos de comparação com outra semente sem o conhecimento de suas propriedades, no caso do angico há estudo sobre a presença de taninos citado abaixo.

Diferente do quiabo as sementes de angico-vermelho e de olho-de-dragão não foram encontrado estudos para fins de tratamento de água, mas resolver estudar essas espécies, devido em estudos realizados com a semente de Moringa ser comprovando que, a ação do coagulante presente na Moringa se deve às proteínas que são polieletrólitos catiônicos de alto peso molecular, que neutralizam as partículas contidas na água e coagulam os colóides de carga negativa. Estas proteínas são o composto encontrado em maior quantidade em semente da planta, em torno de 40% (GALLÃO; DAMASCENO; BRITO, 2006). E ainda em estudo realizado por Carneiro et al (2010) com a casca do angico-vermelho foi encontrado alta massa molar de taninos sendo um princípio ativo, e são usados como polímero natural no tratamento de água. Existem várias definições para o termo taninos, mas segundo Waterman e Mole (1994), provavelmente a definição mais aceitável é a de que os taninos vegetais são classificados como compostos fenólicos solúveis em água, tendo peso molecular entre 500 e 3.000 e que, ao lado de reações fenólicas usuais, têm a propriedade de precipitar alcalóides, gelatinas e outras proteínas.

As substâncias tanantes obtidas de vegetais, cujas propriedades características consistem em se combinarem com as proteínas da pele dos animais, tornando-as imputrescíveis; em adsorverem os metais dissolvidos em água, pela sua coloração e viscosidade. Devido a estas propriedades, o tanino pode ser então empregado com sucesso nas indústrias de curtimento, anticorrosivos, floculantes, bebidas e plásticos, etc.

O tanino forma sais complexos com todos os metais; tendo assim a propriedade de um polímero, posteriormente um floculantes. A obtenção de polímeros adequados para uso em tratamento de água e esgoto necessita de características como: solubilidade em água, propriedades eletrolíticas e peso molecular adequado.

O tanino pode ser encontrado abundantemente em várias partes das árvores como: raízes, galhos, folhas, flores, frutos e sementes. Ele constitui-se de carboidrato simples, goma hidroxicoloidais, fenóis e aminoácidos.

O estudo do tanino vem se desenvolvendo gradativamente e a cada momento, mostra suas utilizações e complexidades, devido aos inúmeros polímeros constituídos de diversas estruturas vegetais existentes em nossa flora (SANTOS, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos ocorreram usando como principais matérias-primas o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), a semente angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng), a semente de olho-de-dragão (*Adenanthera pavonina* L.) e o coagulante sulfato de alumínio em ensaios no jarro utilizando o equipamento *Jar Test*. O quiabo foi adquirido no mercado do Ver-o-Peso, o angico-vermelho e o olho-de-dragão foram coletados na EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Foram feitas análises primeiramente com a solução do pó de quiabo, depois de obtido os melhores resultados analisaram-se as outras duas amostras, com as mesmas dosagens obtidas nos testes com o quiabo para comparações em relação à remoção da turbidez e cor, e principalmente para verificar a eficiência de cada amostra usada como auxiliar de floculação.

4.1 MATERIAL

4.1.1 Coagulante, Alcalinizante e Polímeros Naturais como auxiliares de floculação

Foi utilizado o coagulante metálico Sulfato de Alumínio hidratado P.A $Al_2(SO_4)_3 \cdot (14-18)H_2O$ da marca VETEC na forma granular.

O hidróxido de sódio P.A (NaOH) da marca Synth foi utilizado para correção do pH.

As amostras usadas como polímeros naturais foram: o quiabo, a semente de angico-vermelho e a semente de olho-de-dragão em forma de pó que passaram pelos processos de higienização; secagem; trituração; moagem; peneiração.

4.1.2 Água bruta do rio Guamá

A cidade de Belém, uma metrópole amazônica e capital do estado do Pará, é banhada ao sul pelo Rio Guamá, que desemboca na Baía do Guajará, formada pelo Rio Guamá, de maior vazão, e Rio Acará (RAMOS, 2004). O rio Guamá antes de juntar-se à baía do Guajará, sofre uma inflexão para norte numa extensão de 29 km, até a confluência do rio Maguari. No trecho que corre de leste para oeste, ao sul de

Belém, a largura média do rio é de 2.450 m, ao passo que no trecho em direção ao norte é de 4.200 m (PMB, 2001).

O Rio Guamá e seus afluentes sofrem influência das marés oceânicas, recebendo constantes sedimentos da baía de Guajará com suas águas barrentas e, temporariamente, salobras no ápice do verão. A oscilação de suas águas, provocando variações sazonais, chega a alagar parte das dezenas de ilhas da região e eleva o nível da água dos canais, inclusive alagando alguns setores da cidade. Essa situação, aliada a outros parâmetros ambientais e antropogênicos, é prejudicial ao abastecimento público, pois grande parte da água distribuída à população de Belém é aduzida do Rio Guamá para o Lago Água Preta e daí para o lago Bolonha de onde é então captada e transportada para as (ETA) Estações de Tratamento de Água do Bolonha, de São Brás e do 5º Setor (PMB, 2001).

A água utilizada nos experimentos foi do rio Guamá, nas proximidades da universidade federal do Pará, o valor da turbidez e da cor não se apresentaram elevados durante os meses de coleta com média de 39,9 NTU para turbidez e 110,9 uH para cor, segundo Richter (2009) a turbidez é considerada baixa quando menor que 50 NTU. As coletas foram feitas durante os meses de abril, maio, junho e dezembro, diariamente foram coletados cerca de 20 litros de água, logo após as coletas eram analisados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, temperatura, turbidez, cor aparente, cor verdadeira e a alcalinidade.

4.1.3 Equipamentos analíticos

Para determinação dos parâmetros físico-químicos: turbidez, cor, pH e temperatura, foram utilizados os seguintes equipamentos (Quadro 2). A alcalinidade foi determinada por titulometria.

Quadro 2 - Equipamentos usados nos ensaios.

EQUIPAMENTO	MARCA e MODELO
Potenciômetro e Termômetro	HANNA / pH 21- Brasil
Colorímetro	Hellige Tester / No. 61LA - USA
Turbidímetro	HAYONIK / FTV Color – Brasil

4.1.4 Equipamento *Jar Test*

O *Jar Test* (Fotografia 1) usado foi o equipamento da marca Nova Ética e modelo 218/LDB 06 – Brasil com maior rotação de 600 rpm e gradiente de velocidade máximo igual a 2000 s^{-1} , apresenta seis cubas quadradas com dimensão de 11,5 x 11,5 cm e altura de 21 cm, comportando volume de 2 litros, e com coleta submersa de amostras de forma direta ou através de sifão.

Fotografia 1 – Equipamento *Jar Test*.



Fonte: Próprio autor.

4.1.5 Preparo das soluções

A preparação das soluções foram feitas segundo Di Bernado et al, (2002), onde a solução de sulfato de alumínio e hidróxido de sódio, apresentaram concentrações de 10 g/L, sendo que foram pesados em uma balança analítica da marca Mettler Toledo e modelo AB204 – Suíça 10 g de cada reagente e dissolvidos com água destilada em um balão volumétrico de 1 L.

Nestas soluções com concentrações de 10 g/L, cada 1 mL corresponde a 10 mg, ou seja, quando colocados no jarro de 2 L do equipamento, deram uma dosagem de 5 mg/L ou, no caso de se aplicar 3 mL no jarro, por exemplo, tem-se a dosagem de 15 mg/L. Usou-se concentrações de 5 a 100 mg/L da solução nos ensaios.

No caso do polímero usado como auxiliar de floculação, a concentração usada no *Jar Test* foi de 0,1 g/L; portanto, preparou-se 100 mL de solução, com 10 mg do polímero em pó e dissolveu com água destilada para 100 mL em um balão volumétrico. Cada 1 mL desta solução tem 0,1 mg do polímero, que posto no jarro de 2 L, apresenta dosagem de 0,05 mg/L. As dosagens dos polímeros testadas variaram de 0,1 a 14 mg/L. Estas soluções foram usadas durante uma semana e descartadas, renovando-se o estoque a cada semana até o término dos ensaios, isso se deu devido a perda da eficiência destes produtos químicos.

4.2 MÉTODOS

Os ensaios experimentais aconteceram no Laboratório de Processos Ambientais (LPA) da Universidade Federal do Pará.

4.2.1 Processamento das espécies vegetais

A desidratação consistiu em 5 etapas: Higienização; secagem; trituração; moagem e peneiramento para a obtenção do pó das amostras.

Higienização:

As amostras usadas como polímeros naturais foram lavadas com água corrente para retirar impurezas e por imersão em hipoclorito de sódio.

Secagem:

A secagem das amostras ocorreu de forma experimental por várias tentativas até ser encontrado o tempo e a temperatura ideal, portanto não foi utilizado um método específico. Nesta etapa cada amostra apresentou seu melhor tempo de secagem, devido às suas peculiaridades, logo as amostras do quiabo ficaram 21 h (Fotografia 2), as do angico-vermelho 4 h e as de olho-de-dragão ficaram 6 h na estufa de secagem e esterilização modelo 315 SE da marca FANEM – Brasil na temperatura de 100 ± 1 °C. Segundo TACO (2011) o quiabo cru apresenta um teor de umidade 90,6%.

Fotografia 2 - Quiabo seco.



Fonte: Próprio autor.

Trituração:

A trituração (Fotografia 3) foi feita em um processador, marca ARNO. Não foi estipulado tempo para trituração.

Fotografia 3 - Auxiliares de floculação triturados.

a) Quiabo



b) Angico vermelho



Fonte: Próprio autor.

Moagem:

A moagem se deu em um Grau de Porcelana.

Peneiramento:

As amostras após a moagem foram peneiradas, utilizando um conjunto de peneiras do tipo Tyler/mesh de 14, 28 e 200 mesh de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) cujo mesh corresponde a 1,19; 0,595 e 0,074 mm respectivamente (PERRY; CHITON, 1997). A separação foi realizada por meio de agitador RO-TAP da Produtest, 220 V – 5 A, 60 ciclos, ½ HP, 1ª Fase, nº 404 - Alemanha, durante 20 minutos. Quando se atingiu o pó das amostras (Fotografia 4) utilizando a granulometria de 0,074 mm , estes foram armazenados em recipientes fechados.

Fotografia 4 - Quiabo em forma de pó.



Fonte: Autor próprio.

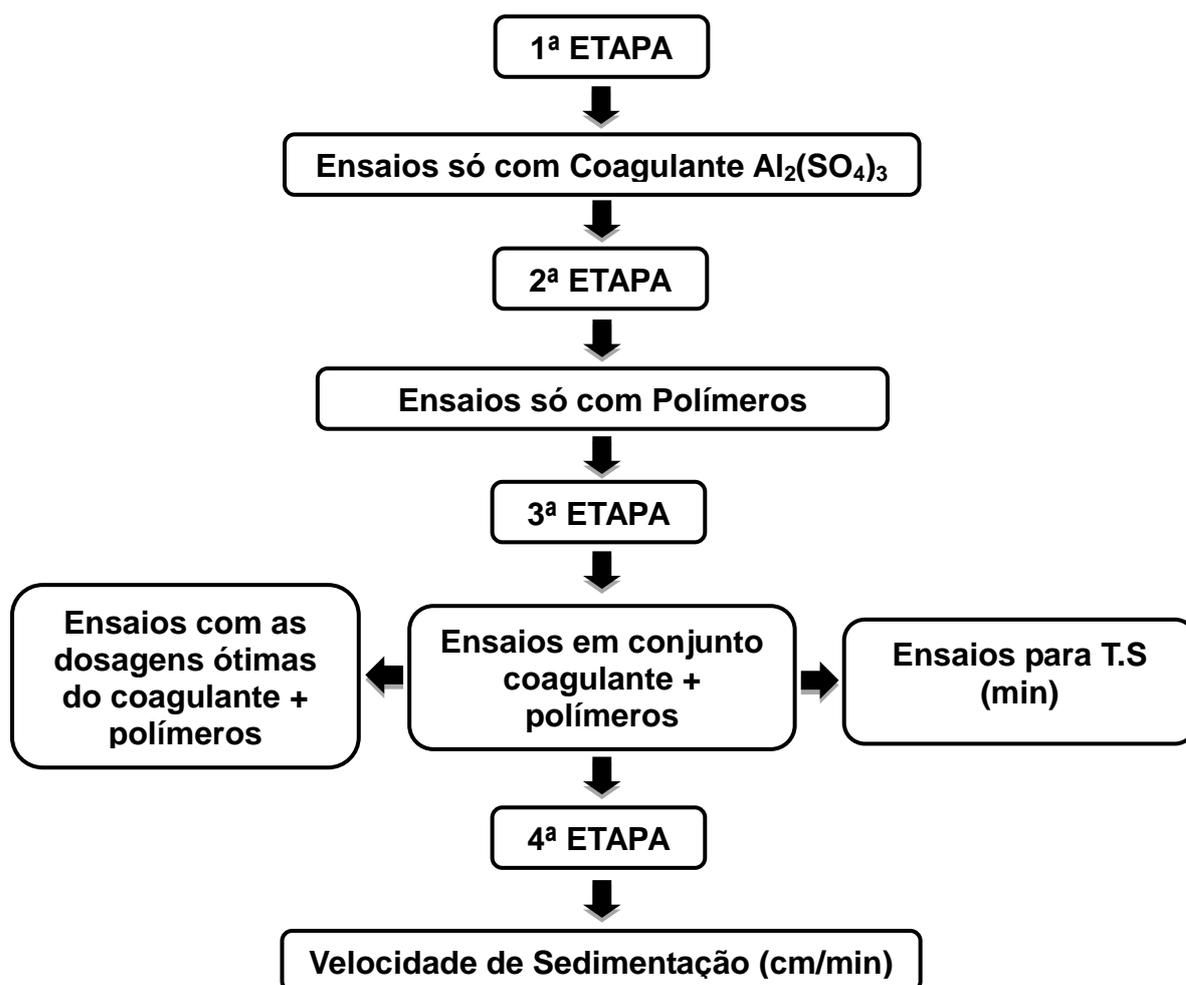
Os produtos assim obtidos foram aplicados em testes de coagulação/floculação de bancada, no equipamento estático denominado *Jar Test*, com ensaios realizados na água natural do Rio Guamá, que devido às distintas tecnologias de tratamento da água, direcionou as aplicações nos mecanismos de varredura.

4.2.2 Procedimentos dos ensaios no Jar Test

Os ensaios foram realizados em 4 etapas, no Fluxograma 1 abaixo estão descritas as etapas. Nessas etapas foram realizados testes para analisar a viabilidade e a melhor dosagem de cada um dos produtos, principalmente quando usado só os auxiliares de floculação para verificar as suas eficiências como auxiliar de floculação em relação à turbidez e a cor. Realizaram-se vários ensaios, mas só os que apresentaram resultados satisfatórios foram analisados em gráfico. Os resultados estão tabelados no apêndice A.

Não foi necessário usar acidificante devido a água bruta apresentar um pH em média de 6,07 e alcalinidade 14 mg/L de CaCO_3 , e quando usado o sulfato de alumínio com o alcalinizante o pH variou de 6,50 a 7,57 nos ensaios.

Fluxograma 1 – Etapas dos experimentos.



4.2.2.1 Ensaio com o coagulante

Nos testes com a água do Rio Guamá, que é um dos mananciais de Belém, os ensaios com o coagulante (sulfato de alumínio) e alcalinizante com concentração de 10 g/L, sendo usados para controle, os parâmetros de remoção dos colóides, cor e turbidez, mistura rápida com a rotação máxima (150 rpm e $G = 140 \text{ s}^{-1}$) com tempo de 1 minuto, adicionando o alcalinizante (NaOH) 1 minutos antes do processo de coagulação com a mesma dosagem do sulfato de alumínio que variou de 5 a 100 mg/L, a floculação com duração de 15 minutos e rotação de 40 rpm ($G = 37 \text{ s}^{-1}$) e tempo de sedimentação de 15 minutos. A dosagem ótima do coagulante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ na varredura foi estabelecida após uma série de ensaios. As leituras de alguns dados foram abreviadas como, por exemplo, T.Q (Turbidez do Quiabo).

4.2.2.2 Ensaio com polímero natural como auxiliar de floculação

Após determinar a melhor dosagem de coagulante, verificou-se a melhor dosagem dos polímeros naturais (mais comum como auxiliar de floculação), também chamados de P.Q (polímero de quiabo), P.AV (polímero de angico-vermelho) e P.OD (polímero de olho-de-dragão), repetindo-se a mistura rápida com o máximo de rotação e duração igual à do ensaio anterior. Finda esta etapa, reduziu-se a rotação para o gradiente da floculação usado no ensaio de determinação do coagulante e após 4 minutos de agitação lenta, aplicou-se a (Dp) dosagem dos polímeros com concentração de 0,1 g/L, sendo usada dosagem variando de 0,1 a 3 mg/L, ou seja, aplicou-se de 2 a 60 mL nos seis frascos.

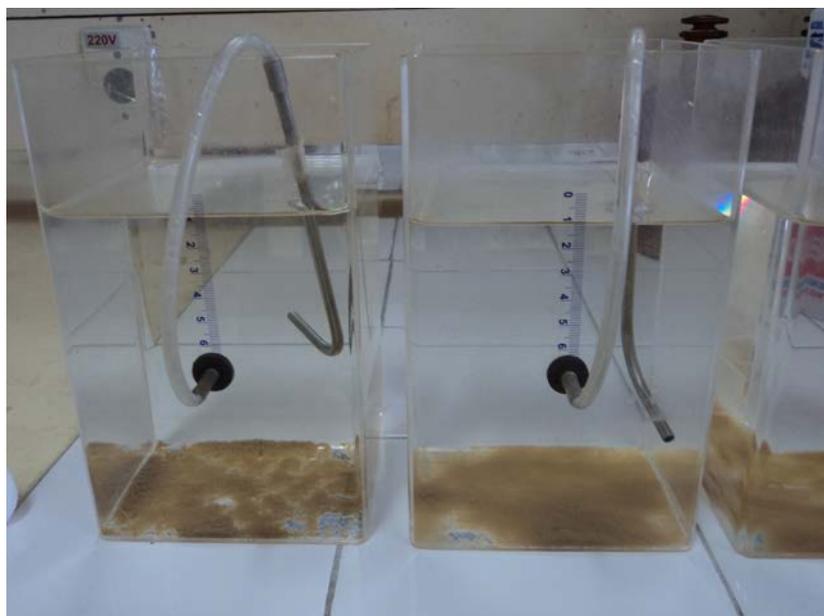
As amostras foram coletadas após 15 minutos do fim da floculação para as análises dos parâmetros estudados e foram produzidos gráficos e tabelas, possibilitando a escolha adequada da dosagem do polímero.

4.2.2.3 Ensaio em conjunto (Coagulante e Polímero)

Nesta fase os ensaios foram feitos usando diferentes dosagens dos polímeros em conjunto com uma dosagem baixa de sulfato de alumínio (10 mg/L) para verificar se é possível reduzir a dosagem deste quando usado em conjunto com o polímero natural ou auxiliar de floculação; testes com a melhor concentração do coagulante

20 mg/L em conjunto com a dosagem ótima de cada polímero usado (quiabo 1,4 mg/L; semente de angico-vermelho 2,2 mg/L; semente de olho de dragão 2,4 mg/L) verificando a E.R(%) - Eficiência de Remoção da turbidez e cor dos polímeros em conjunto com o coagulante e analisou-se o tempo de sedimentação, os tempos analisados foram: 10; 20; 30; 40; 50 e 60 minutos; e teste com a dosagem ótima do coagulante (20 mg/L) sem o polímero em relação ao (T.S) tempo de sedimentação (10; 20; 30; 40; 50 e 60 minutos), a Fotografia 5 mostra a água após todo o processo no *Jar Test*.

Fotografia 1 - Resultado da água após o processo de coagulação, floculação e sedimentação.



Fonte: Próprio autor.

4.2.2.4 Ensaio para determinar o tempo e velocidade de sedimentação

Os tempos de sedimentação analisados foram (2; 4; 6; 8; 10 min) com velocidade de sedimentação iguais a 3,5 cm/min; 1,75 cm/min; 1,17 cm/min; 0,875 cm/min e 0,7 cm/min com a retirada de amostras do sobrenadante (7cm de profundidade) para comparação com a melhor dosagem dos reagentes em relação a turbidez. Foram usados os reagentes em conjunto, sendo que foi usada a dosagem ótima do coagulante 20 mg/L e variou as dosagens dos polímeros naturais entre 2 a 14 mg/L.

4.2.3 Análise dos dados

Os resultados foram analisados através de gráficos utilizando *software Statistica 7.0*® (Statsoft 2004), para verificar a dosagem ótima dos reagentes e a remoção da turbidez e da cor através dos cálculos da eficiência conforme as Equações 1 e 2. Foram feitas comparações entre a turbidez x dosagem dos respectivos reagentes estudados e entre turbidez x tempo da sedimentação e da turbidez x velocidade de sedimentação.

Determinou-se a turbidez da água decantada com tempos de sedimentação de 2 minutos ou 3,5 cm/min de velocidade de sedimentação, de 4 minutos ou 1,75 cm/min de velocidade de sedimentação, de 6 minutos ou 1,17 cm/min de velocidade de sedimentação, de 8 minutos ou 0,875 cm/min de velocidade de sedimentação e de 10 minutos ou 0,7 cm/min de velocidade de sedimentação, para estabelecer a viabilidade do uso do polímero como auxiliar de floculação, onde se comparou a melhor combinação do coagulante e auxiliar de floculação com a melhor dosagem de coagulante do ensaio anterior. Para isto, foi usado o primeiro jarro sem o polímero, verificando-se a eficiência de redução da turbidez, bem como, a velocidade de sedimentação, que é determinada com a relação entre a altura da tomada de amostras e o tempo de sedimentação, sendo muito significativa no caso de comparação de coagulantes e de polímeros.

$$E.R(\%) = 1 - \left(\frac{T_f}{T_0} \right) * 100 \quad (1)$$

$$E.R(\%) = 1 - \left(\frac{C_f}{C_0} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde:

$E.R(\%)$ é a Eficiência de Remoção;

T_f é a turbidez final;

T_0 é a turbidez inicial;

C_f é a cor final;

C_0 é a cor inicial.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água do Rio Guamá foi coletada em vários dias, sendo calculada a média e o desvio padrão a de todos os parâmetros. As médias e o desvio de cada parâmetro analisado da água bruta estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Média e desvio padrão dos parâmetros físico-químicos da água bruta.

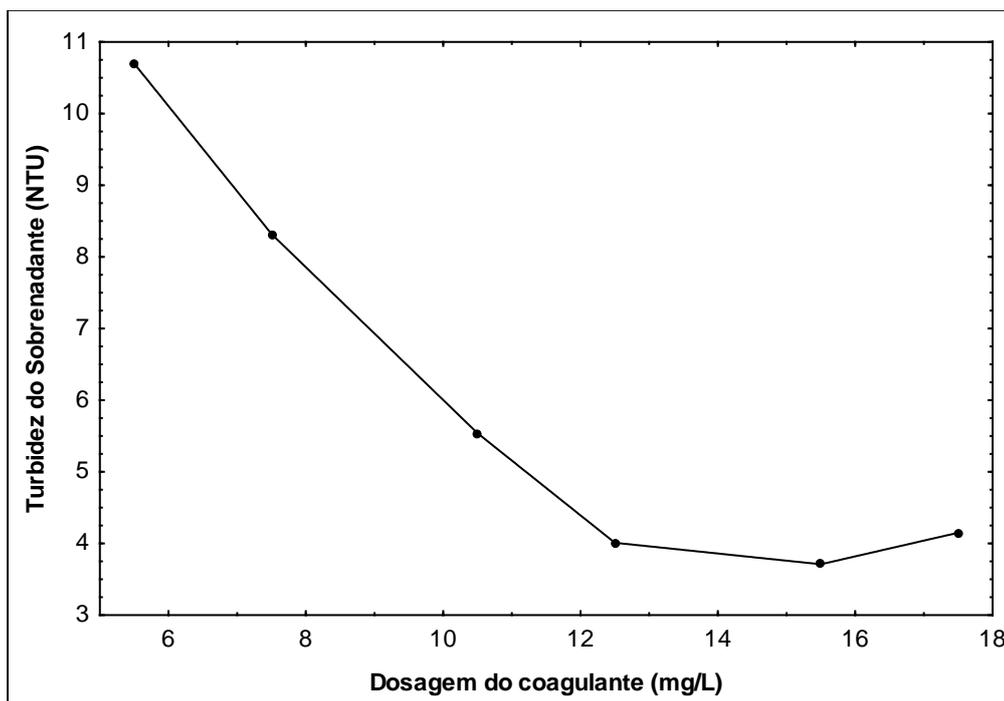
PARÂMETROS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
pH	6,07	0,17
TEMPERATURA	27,8 °C	0,73
TURBIDEZ	39,9 NTU	11,4
COR APARENTE	110,9 uH	30,4
COR VERDADEIRA	57,5 uH	10,1
ALCALINIDADE	14 mg/L de CaCO ₃	3,86

Os ensaios ocorreram em 4 etapas citadas no Fluxograma 1 acima, sendo que foram escolhidos para serem analisados em gráficos os melhores resultados dos ensaios no processo de coagulação-floculação, onde foi usado como matéria-prima o coagulante químico sulfato de alumínio e como auxiliares de floculação: o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), a semente de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina* (L.) Speng) e a semente de olho-de-dragão (*Adenanthera pavonina* L.). Os resultados dos experimentos e dos cálculos da eficiência de remoção da turbidez e da cor dos melhores ensaios estão tabelados no Apêndice A.

5.1 TESTES SÓ COM SULFATO DE ALUMÍNIO: 1ª ETAPA

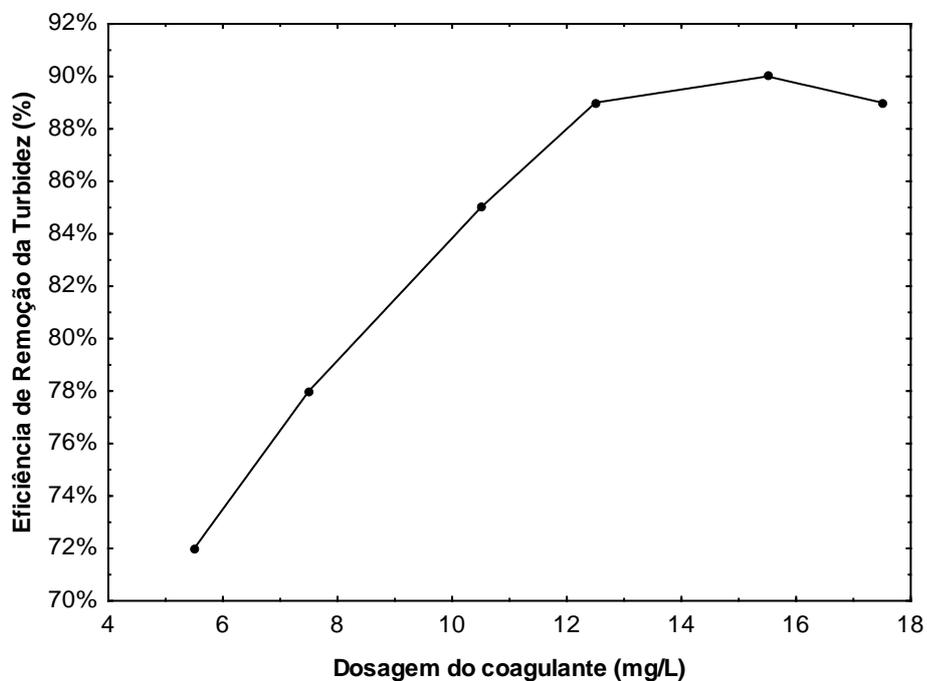
Nesta etapa os ensaios ocorreram para verificar a melhor dosagem do coagulante em relação à remoção da turbidez, da cor e verificar o pH ótimo de coagulação, a solução apresentou concentração de 10 g/L. As dosagem usadas foram de 5 a 100 mg/L, os gráficos a seguir foram analisados a partir dos três melhores ensaios. Os ensaios foram realizados com diferentes valores dos parâmetros físico-químicos, devido à coleta da água ser realizada a cada ensaio.

Gráfico 1 - Teste 1 de dosagem do coagulante sulfato de alumínio.



Dados da Tabela A1 no APÊNDICE A.

Gráfico 2 – Eficiência de Remoção da turbidez do teste 1.

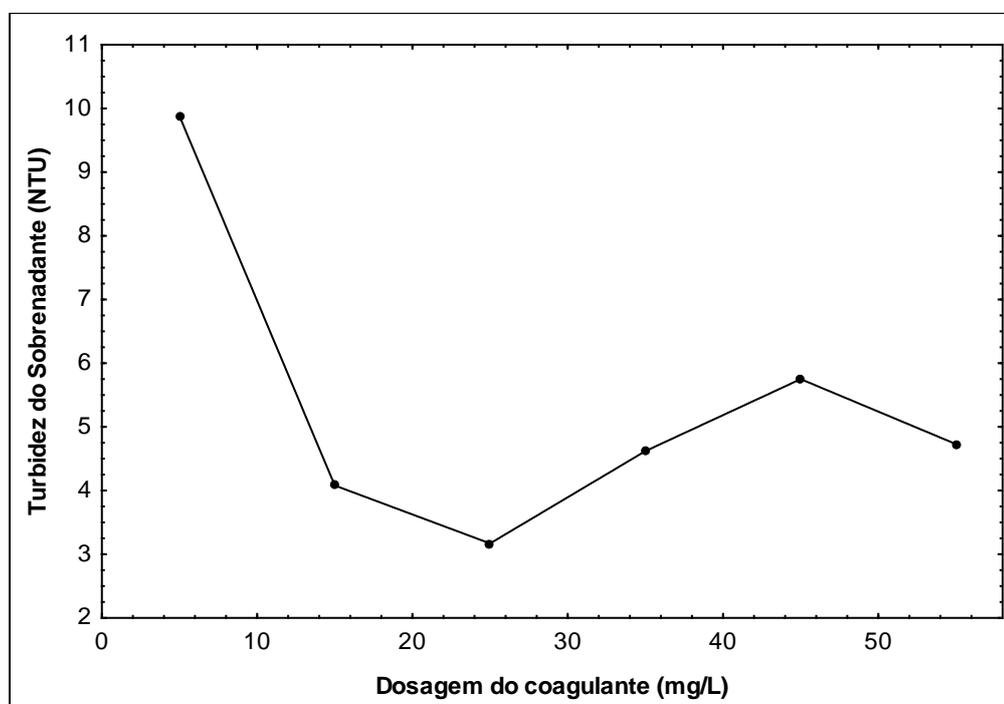


Dados da Tabela A1 e A2 no APÊNDICE A.

O Gráfico 1 apresenta dosagens do coagulante sulfato de alumínio de 5,5 a 17,5 mg/L, a água bruta utilizada neste ensaio estava com valor de turbidez de 38,5

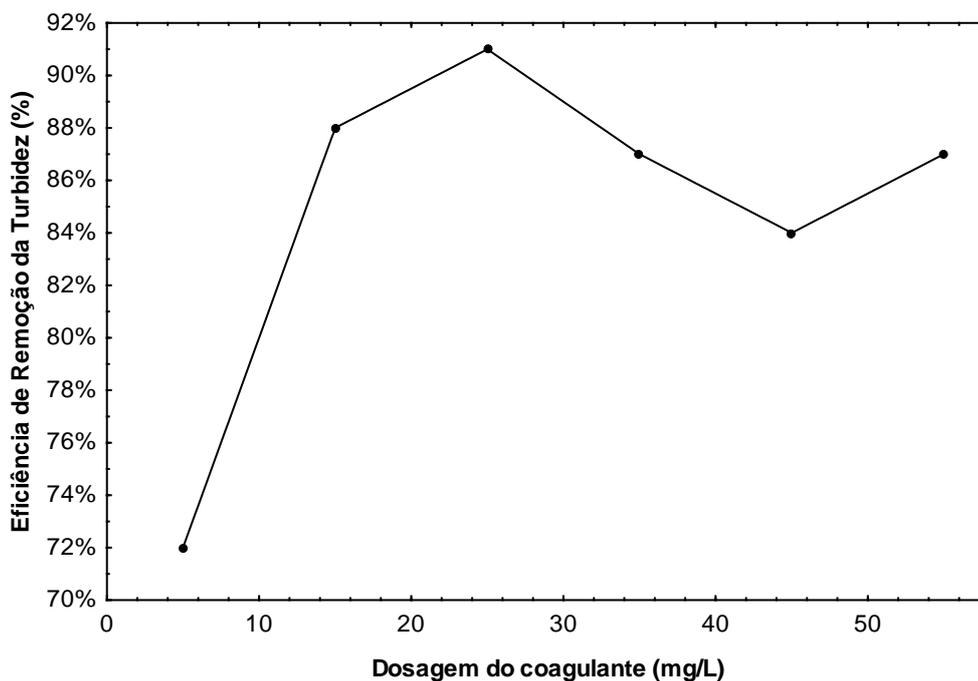
NTU e cor aparente = 100 uH. A dosagem ótima foi observada na concentração de 15,5 mg/L com valor final de turbidez de 3,75 NTU, após o processo de coagulação-floculação. A eficiência de remoção da turbidez verificada no Gráfico 2 para este valor de 3,75 NTU da turbidez final foi de 90%, o pH ótimo de coagulação foi de 6,98. Os resultados da eficiência de remoção da cor estão tabelados no APÊNDICE A, onde a remoção da cor variou de 90 a 95% neste ensaio. Os Gráficos 1 e 2 mostram ótima remoção da turbidez e cor obtida com a aplicação de 15,5 mg/L apenas do coagulante, observando ser uma concentração pequena de sulfato de alumínio.

Gráfico 3 - Teste 2 de dosagem do coagulante sulfato de alumínio.



Dados da Tabela A3 no APÊNDICE A.

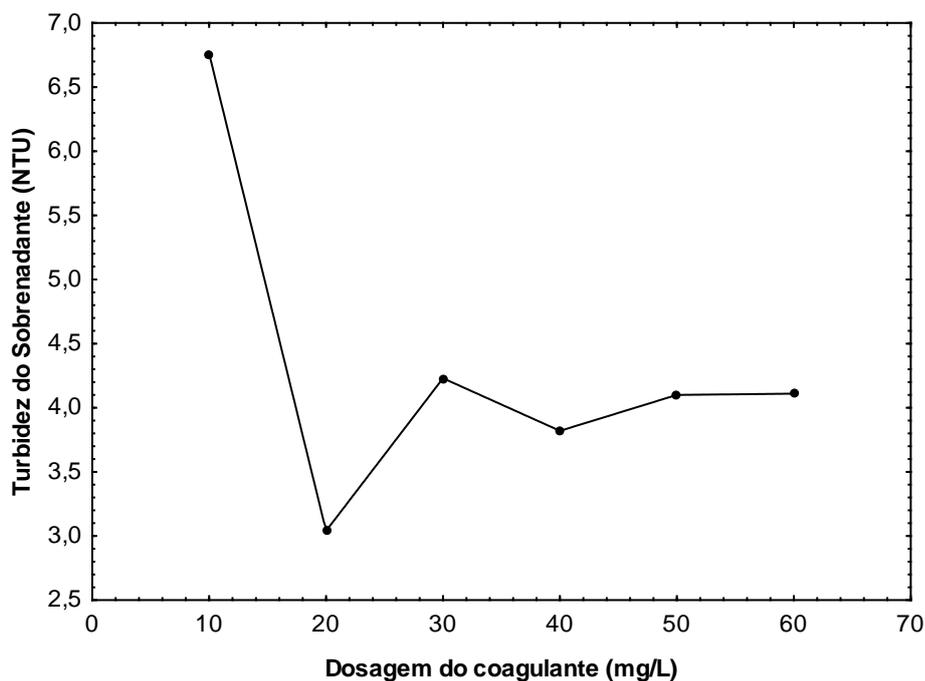
Gráfico 4 – Eficiência de Remoção da turbidez do teste 2.



Dados da Tabela A3 e A4 no APÊNDICE A.

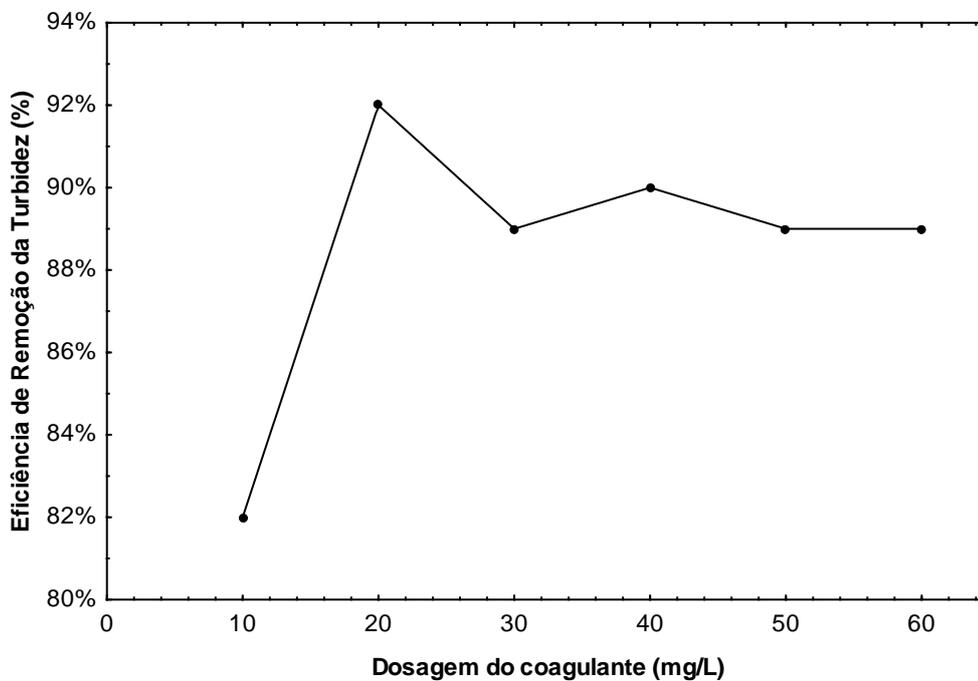
O Gráfico 3 apresenta dosagens do coagulante de 5 a 55 mg/L, a água bruta utilizada neste ensaio estava com valor de turbidez de 36,1 NTU e cor aparente = 100 uH. A dosagem ótima foi observada na concentração de 25 mg/L com valor final de turbidez de 3,17 NTU, esta turbidez apresentou uma pequena diminuição em relação a turbidez final do Gráfico 1 que foi de 3,75 NTU com dosagem do coagulante de 15,5 mg/L. No ponto mais elevado do Gráfico 3 a turbidez foi de 9,88 NTU com a menor dosagem usada neste ensaio de 5 mg/L. A eficiência de remoção da turbidez verificada no Gráfico 4 para este valor de 3,17 NTU foi de 91%, o pH ótimo de coagulação foi de 7,00. Os resultados da eficiência de remoção da cor estão tabelados no APÊNDICE A, onde a eficiência de remoção da cor foi de 95% neste ensaio.

Gráfico 5 - Teste 3 de dosagem do coagulante sulfato de alumínio.



Dados da Tabela A5 no APÊNDICE A.

Gráfico 6 - Eficiência de Remoção da turbidez do teste 3.



Dados da Tabela A5 e A6 no APÊNDICE A.

O Gráfico 5 apresenta dosagens do coagulante de 10 a 60 mg/L, a melhor remoção da turbidez foi analisada com dosagem de 20 mg/L, sendo a turbidez final

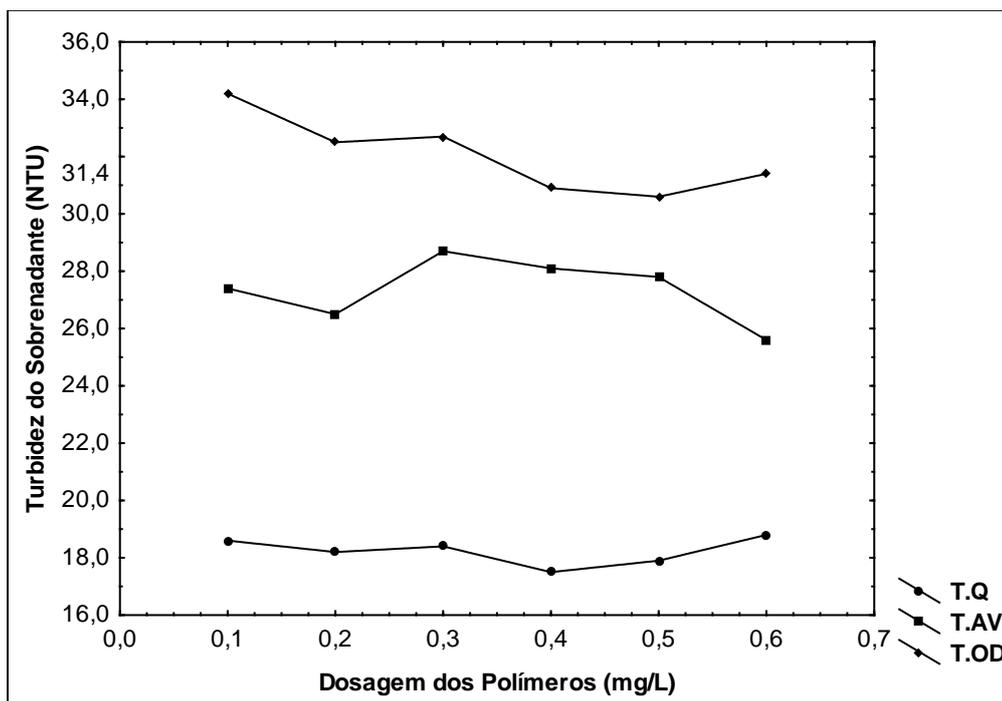
igual a 3,04 NTU e a eficiência de remoção apresentada no Gráfico 6 foi 92% da turbidez, a cor aparente 97% e pH ótimo de coagulação igual a 7,21, sendo estas altas remoções observadas, a turbidez inicial foi 38,2 NTU e a cor aparente igual a 100 uH. Observa-se que a remoção da turbidez não se mostra decrescente com o aumento das dosagens na maioria dos ensaios quanto mais se aumentava as dosagens não ocorria à diminuição dos parâmetros, o que não era o esperado. Isso se deve ao fato de que a ocorrência dos processos de coagulação-floculação estão diretamente ligados a vários fatores que podem interferir nos resultados como, por exemplo, o pH de coagulação, a temperatura e entre outros. De acordo com Guigui et al (2002) que realizou ensaios com água para consumo humano e coagularam a matéria orgânica natural (NOM) com diferentes coagulantes. A comparação do cloreto férrico com os demais coagulantes mostrou que em todos os testes o FeCl_3 apresentava melhor desempenho, sendo que o nível de remoção da matéria orgânica dependia do pH.

Os resultados dos Gráficos 1, 3 e 5 acima mostram que as dosagens e a eficiência de remoção da turbidez e cor apresentaram resultados próximo, mostrando também que as dosagens ótimas foram baixas na faixa de 15,5 a 25 mg/L e pH entre 6,98 a 7,21.

5.2 TESTES SÓ COM OS AUXILIARES DE FLOCULAÇÃO: 2ª ETAPA

Nesta etapa os ensaios foram voltados para os polímeros naturais usados como auxiliar de floculação, procurou-se estudar a eficiência de remoção dos parâmetros turbidez e cor de cada polímero, para uma possível aplicação destes principalmente na indústria.

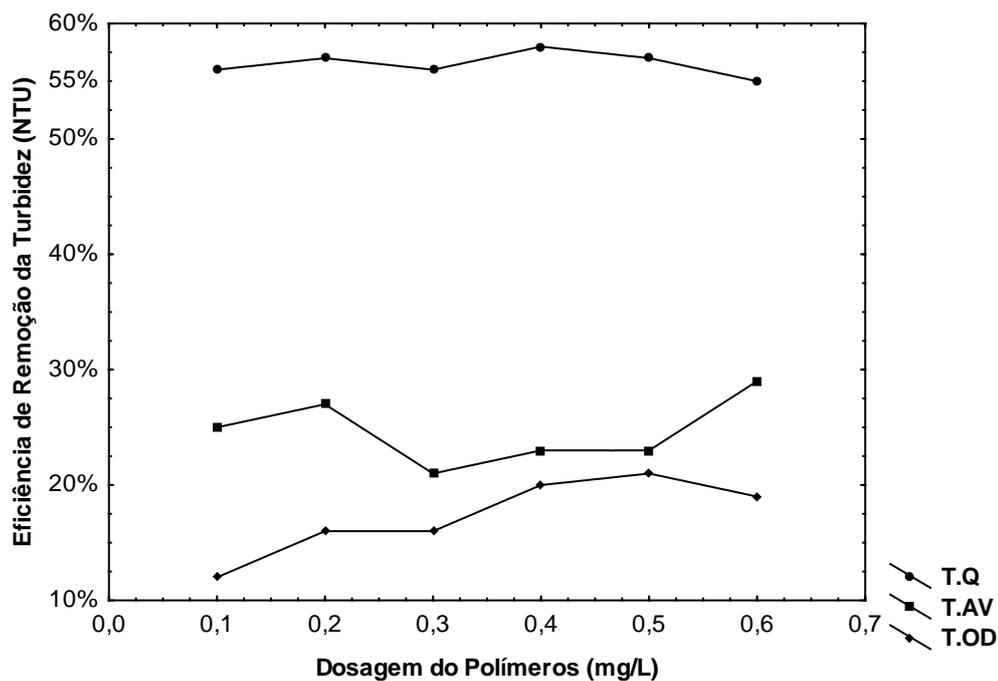
Gráfico 7 - Teste 1 de dosagem dos auxiliares de floculação.



Dados das Tabelas A7; A13 e A19 no APÊNDICE A.

- T.Q: Turbidez do Quiabo;
- T.AV: Turbidez do Angico-vermelho;
- T.OD: Turbidez do Olho-de-dragão.

Gráfico 8 – Eficiência de remoção da turbidez do teste 1 utilizando só polímeros.

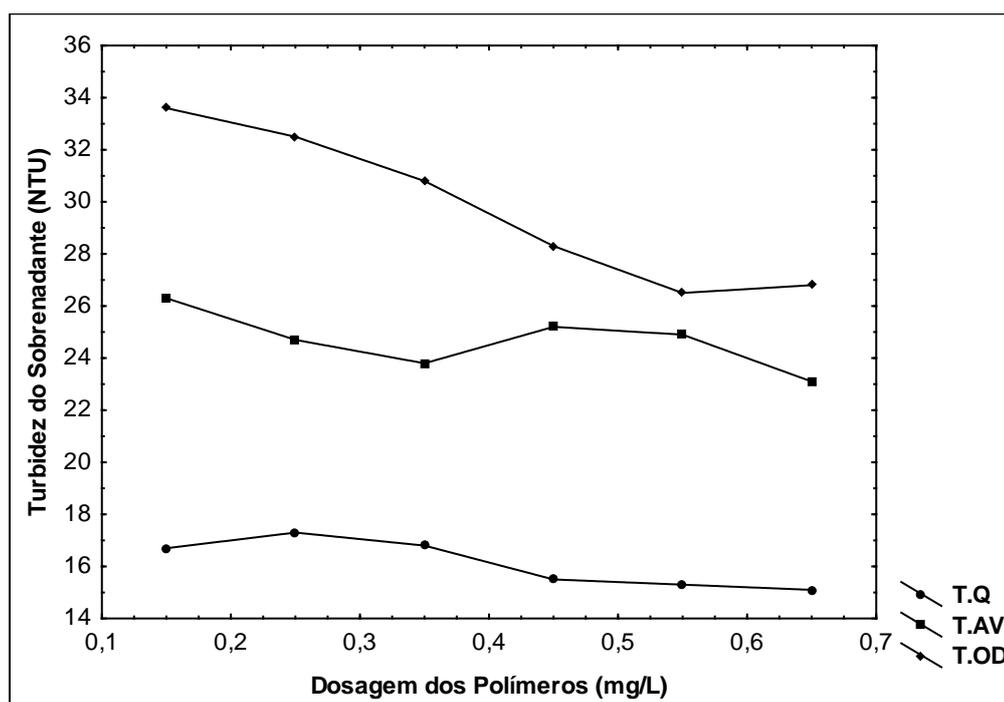


Dados das Tabelas A8; A14 e A20 no APÊNDICE A.

Os resultados da remoção de turbidez dos polímeros do quiabo, angico-vermelho e olho-de-dragão com as dosagens de 0,1 a 0,6 mg/L apresentados no Gráfico 7, foram encontrados em ensaios separados da mesma forma foi com os resultados dos Gráficos 9 e 11, onde cada ensaio apresentou seus valores de parâmetros da água bruta, devido a água ter sido coletada todos os dia. No ensaio para verificar a dosagem ótima de remoção da turbidez com o uso do polímero de quiabo, a turbidez estava 42,3 NTU, a cor= 120 uH, a dosagem ótima encontrada foi de 0,4 mg/L com eficiência de remoção de 58% da turbidez e 87% da cor segundo analisado no Gráfico 8. A turbidez inicial do ensaio com o polímero do angico-vermelho foi de 36,4 a melhor dosagem foi de 0,6 mg/L com eficiência de remoção da turbidez de 29% e da cor de 62%. E para a remoção da turbidez com o uso do polímero de olho-de-dragão a dosagem ótima foi 0,5 mg/L, turbidez inicial de 38,8 NTU e cor igual a 100 uH, a remoção da turbidez foi baixa com 21% e da cor com 50%.

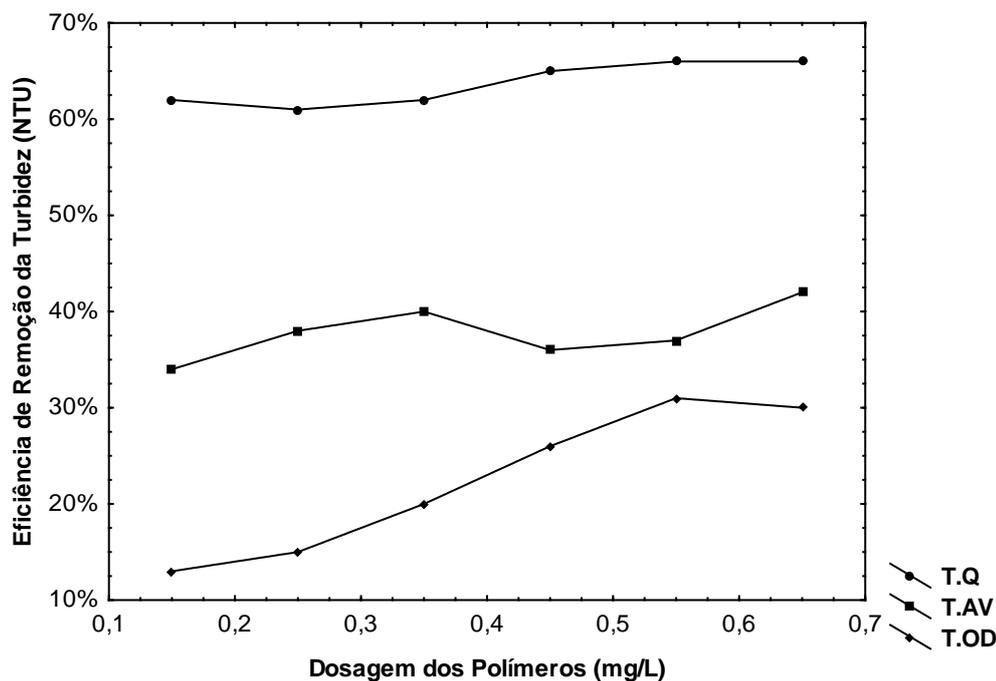
Não podemos descartar a possibilidade de que os resultados podem ter sido prejudicados, com a utilização de diferentes valores dos parâmetros com a coleta diária da água. Segundo Richter (2009) volume da amostra de água bruta deve ser tal que todas as porções testadas provenham da mesma amostra.

Gráfico 9 - Teste 2 de dosagem dos auxiliares de floculação.



Dados das Tabelas A9; A15 e A21 no APÊNDICE A.

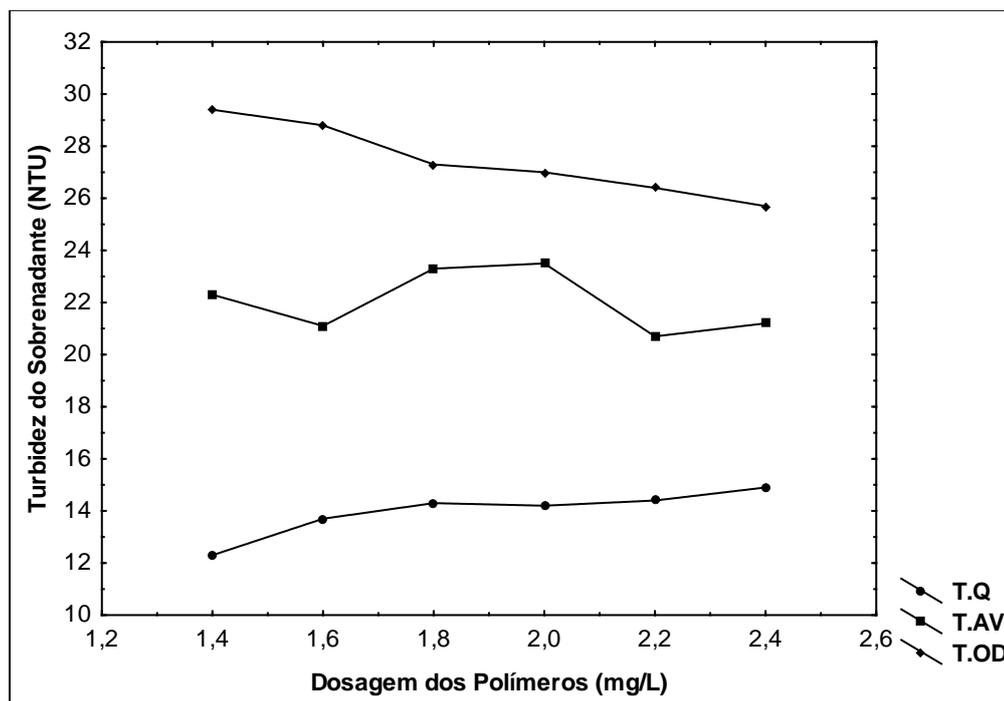
Gráfico 10 – Eficiência de remoção da turbidez no teste 2 utilizando só polímeros.



Dados das Tabelas A10; A16 e A22 no APÊNDICE A.

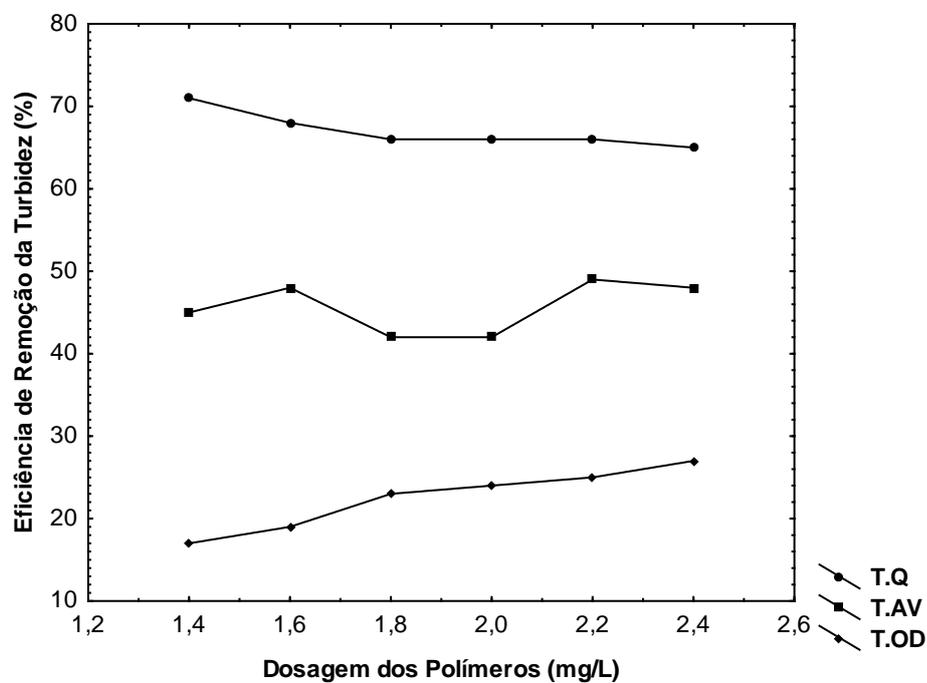
Os resultados da remoção de turbidez dos polímeros do quibabo, angico-vermelho e olho-de-dragão com as dosagens de 0,15 a 0,65 mg/L apresentados no Gráfico 9, mostra que a dosagem ótima de remoção da turbidez com o uso do polímero de quibabo foi 0,65 mg/L, a turbidez inicial estava 44,8 NTU e a cor= 140 uH, a eficiência de remoção da turbidez apresentada no Gráfico 10 foi 66% de turbidez e 89% da cor. A turbidez inicial do ensaio com o polímero do angico-vermelho foi de 39,8 NTU e cor= 100 uH, a melhor dosagem também foi de 0,65 mg/L com eficiência de remoção da turbidez de 42% e a cor de 70%. E para a remoção da turbidez com o uso do polímero de olho-de-dragão a dosagem foi 0,55 mg/L, turbidez inicial de 38,5 NTU e cor igual a 100 uH, a remoção da turbidez foi de 31% e da cor com 60%. Nestas concentrações acima usadas nos ensaios a remoção da turbidez aconteceu em um pequeno intervalo entre os três polímeros estudados.

Gráfico 11 - Teste 3 de dosagem dos auxiliares de floculação.



Dados das Tabelas A11; A17 e A23 no APÊNDICE A.

Gráfico 12 – Eficiência de remoção da turbidez no teste 3 utilizando só polímeros.



Dados das Tabelas A12; A18 e A24 no APÊNDICE A.

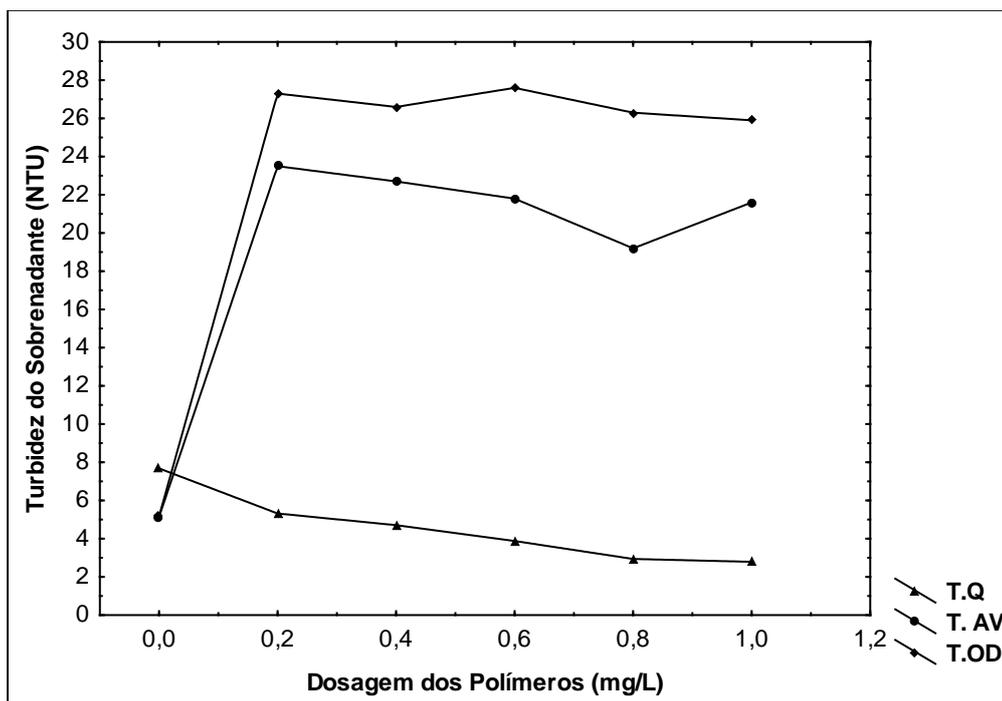
A aplicação das soluções dos polímeros naturais usados como auxiliar de floculação do quiabo; da semente de angico-vermelho e da semente de olho-de-

dragão, secos e pulverizados, na água do rio Guamá com dosagens de 0,1 a 2,4 mg/L usadas nos ensaios, que apresentaram como os melhores resultados as concentrações que estão analisadas nos gráficos acima, mostrou que os ensaios com a solução do polímero natural do quiabo, que é um polissacarídeo aniônico, mostra no Gráfico 12 que a eficiência de remoção da turbidez apresentou-se mais satisfatória com 71% na dosagem de 1,4 mg/L presente no Gráfico 11. Mas em geral os ensaios como os demais não apresentaram resultados satisfatórios, sendo que a turbidez usando a solução de angico-vermelho foi removida em 49% com dosagem de 2,2 mg/L e a solução de olho-de-dragão, também conhecida como falso angico já citada anteriormente, apresentou 27% de remoção da turbidez em 2,4 mg/L de concentração. Deve-se salientar que não foram realizados testes com polímeros sintéticos, principalmente como auxiliares de floculação. A faixa de pH ótimo de coagulação para as remoções foram entre 7 e 7,23, o pH é um fator determinante na coagulação.

5.3 TESTES DO SULFATO DE ALUMÍNIO EM CONJUNTO COM OS POLÍMEROS: 3ª ETAPA

Foram realizados ensaios no mecanismo da varredura, onde foi utilizada uma concentração menor (10 mg/L) de sulfato de alumínio em conjunto com dosagens de 0,2 a 1 mg/L de todos os polímeros usados nos ensaios utilizando o branco só com sulfato para comparação e ensaio com as melhores dosagens dos reagentes, aplicando estudo com o tempo de sedimentação.

Gráfico 13 - Teste em conjunto com sulfato de alumínio e auxiliares.



Dados das Tabelas A25; A29 e A33 no APÊNDICE A.

Observou-se no Gráfico 13, a remoção da turbidez em duas regiões com maior eficiência para todos os polímeros em estudo. As duas regiões de máxima eficiência na remoção da turbidez correspondem à dosagem de 0,8 mg/L e 1,0 mg/L dos polímeros naturais usados como auxiliar de floculação em conjunto com a dosagem de 10 mg/L do sulfato de alumínio. A remoção de turbidez foi de 94% para o uso em conjunto coagulante + polímero natural quiabo, 54% para conjunto coagulante + polímero natural angico-vermelho e 41% para coagulante + polímero natural olho-de-dragão, estes resultados estão tabelados no APÊNDICE A. Em comparação com a dosagem apenas do coagulante (O branco) a remoção da turbidez foi cerca de 86%, comprovando que os polímeros usados em conjunto com os coagulantes ajudam na clarificação da água.

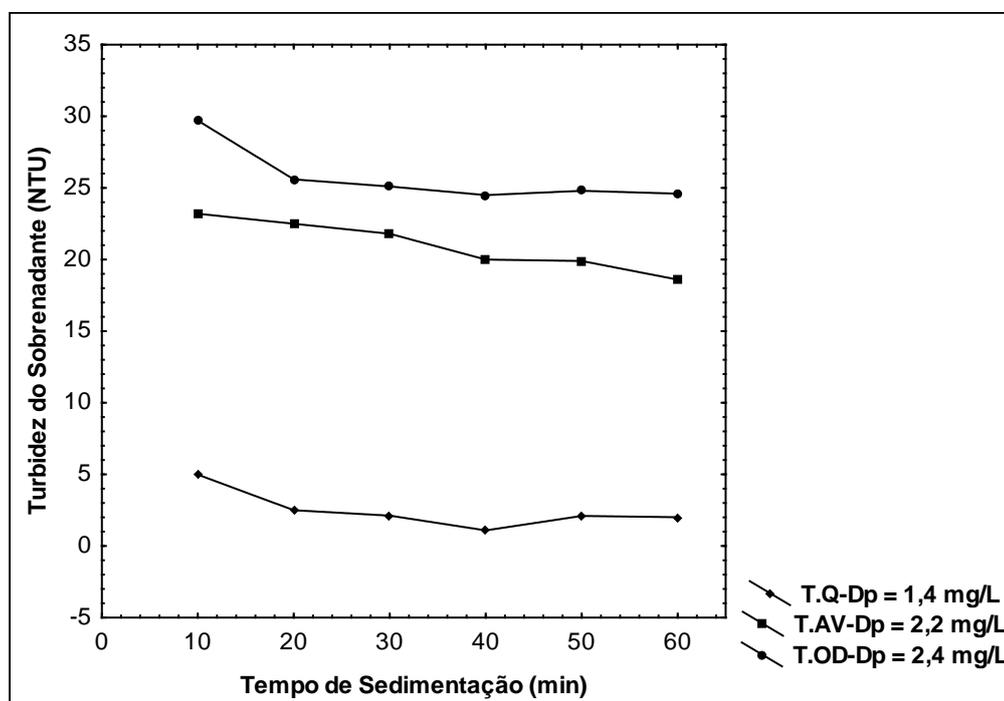
Estes resultados nos mostra que é possível reduzir a dosagem do coagulante quando usado em conjunto com os auxiliares de floculação aplicados no mecanismo de varredura, a diferença de remoção da turbidez com o uso do polímero do quiabo para os demais, neste caso não é expressiva em termos de experimentos, pois o angico-vermelho e o olho-de-dragão foram usados em comparação com os melhores resultados dos ensaios com o quiabo, o que não quer dizer que estes com

estudos mais avançados, ou seja, testes com vários tipos de dosagem como foi feito com o quiabo, poderão apresentar resultados satisfatórios.

A redução na dosagem do coagulante, devido o uso do conjunto coagulante e polímero, foi um item econômico importante no passado. Atualmente o custo dos coagulantes metálicos não é significativo, principalmente em relação ao custo de energia, sendo que Pavanelli (2001) verificou que para o estado de São Paulo os coagulantes como ferro (sulfato e cloreto férrico) têm menor custo que o sulfato de alumínio. A produção de água segura e com qualidade é o item de destaque e o uso de coagulantes com polímeros como os três usados neste trabalho, principalmente o quiabo podem adequar a qualidade das águas decantadas.

Comparado os alguns resultados obtidos nos ensaios com o uso dos polímeros no processo coagulação, floculação e sedimentação, pode se dizer que foram aceitáveis em comparação com os parâmetros aceitáveis nas indústrias.

Gráfico 14 - Teste com os melhores resultados dos polímeros + tempo de sedimentação.

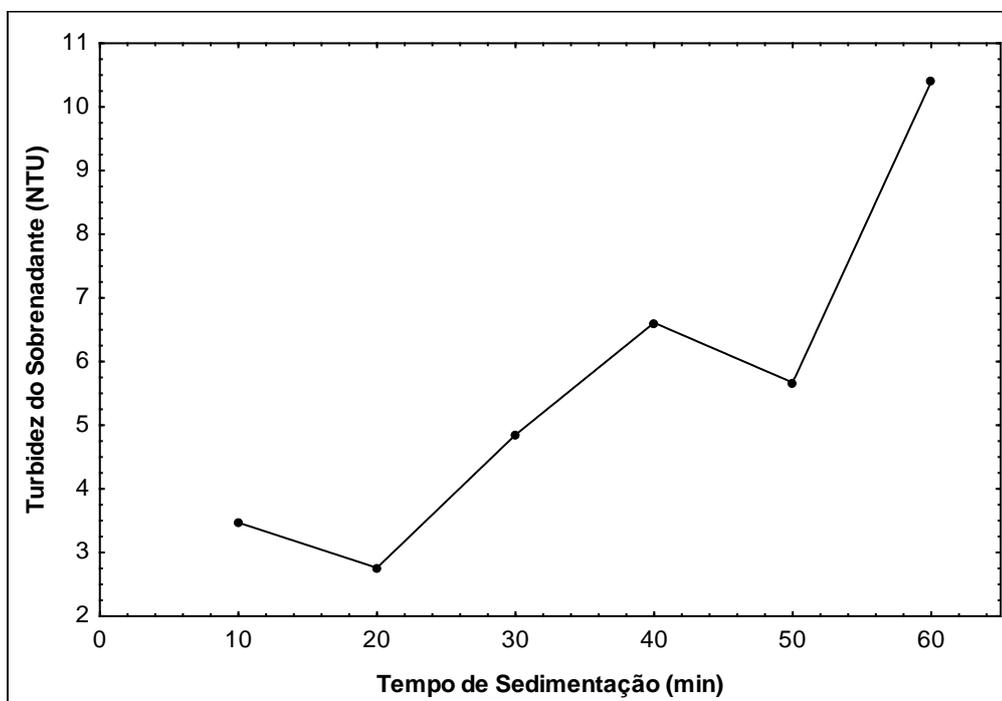


Dados das Tabelas A27; A31 e A35 no APÊNDICE A.

No Gráfico 14 os resultados são da combinação de 20 mg/L dosagem ótima do coagulante, obtidos nos ensaios só com sulfato de alumínio e a melhor dosagem de cada auxiliar de floculação fixadas nos ensaios só com os polímeros da 2ª etapa,

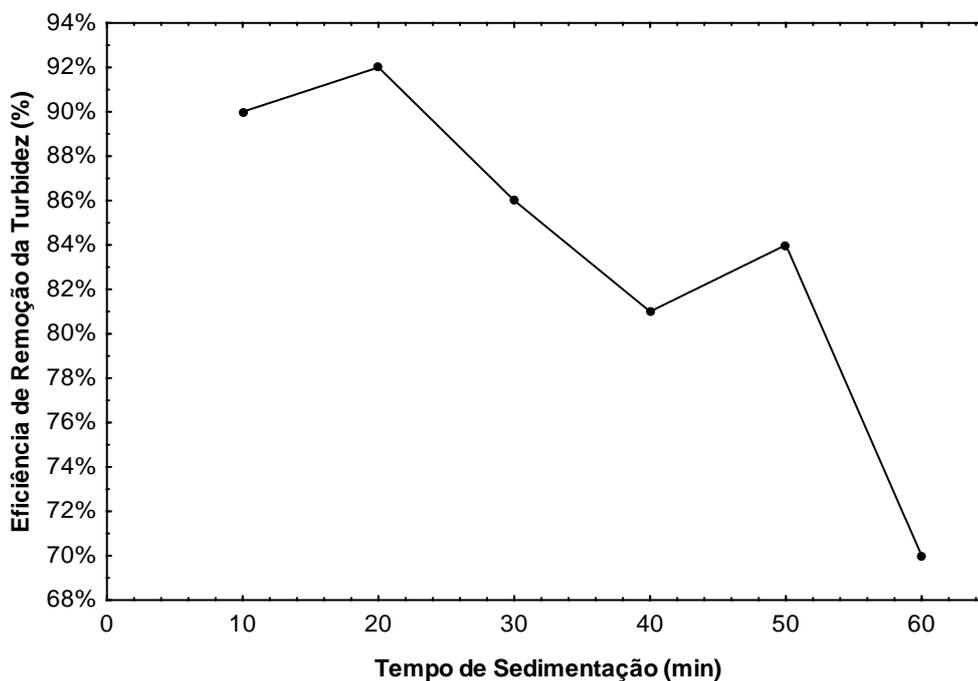
que são: 1,4 mg/L do quiabo; 2,2 mg/L do angico-vermelho e 2,4 mg/L do olho-de-dragão, será analisada a combinação dessas dosagens com vários tempos de sedimentação (10; 20; 30; 40; 50 e 60 minutos). A concentração de 20 mg/L do coagulante + 1,4 mg/L do quiabo apresentou no tempo de 40 minutos a melhor remoção da turbidez com 97 % de eficiência de remoção, já no menor tempo analisado de 10 minutos a remoção foi 55%, a concentração de angico-vermelho reduziu a turbidez em 53% em 60 minutos e o olho-de-dragão em 40% em 40 minutos.

Gráfico 15 - Teste do tempo de sedimentação do coagulante.



Dados da Tabela A37 no APÊNDICE A.

Gráfico 16 – Eficiência de remoção da turbidez para T.S do coagulante.



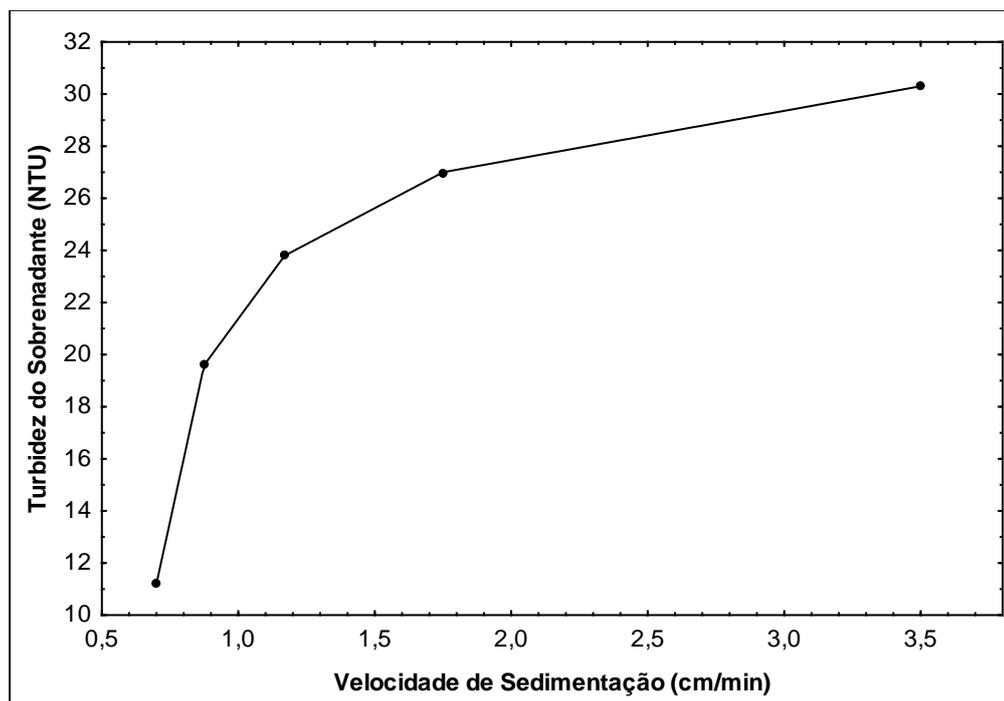
Dados da Tabela A38 no APÊNDICE A.

Com tempo de sedimentação de 20 minutos à turbidez obteve eficiência de remoção de 92% com a dosagem de 20 mg/L do coagulante, aplicado no mecanismo da varredura, conforme o Gráfico 15.

5.4 TESTES PARA TEMPO X VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO: 4ª ETAPA

Os testes foram feitos usando o conjunto sulfato de alumínio 20 mg/L e auxiliares de floculação nas dosagens de 2 a 14 mg/L, para verificar a melhor velocidade de sedimentação.

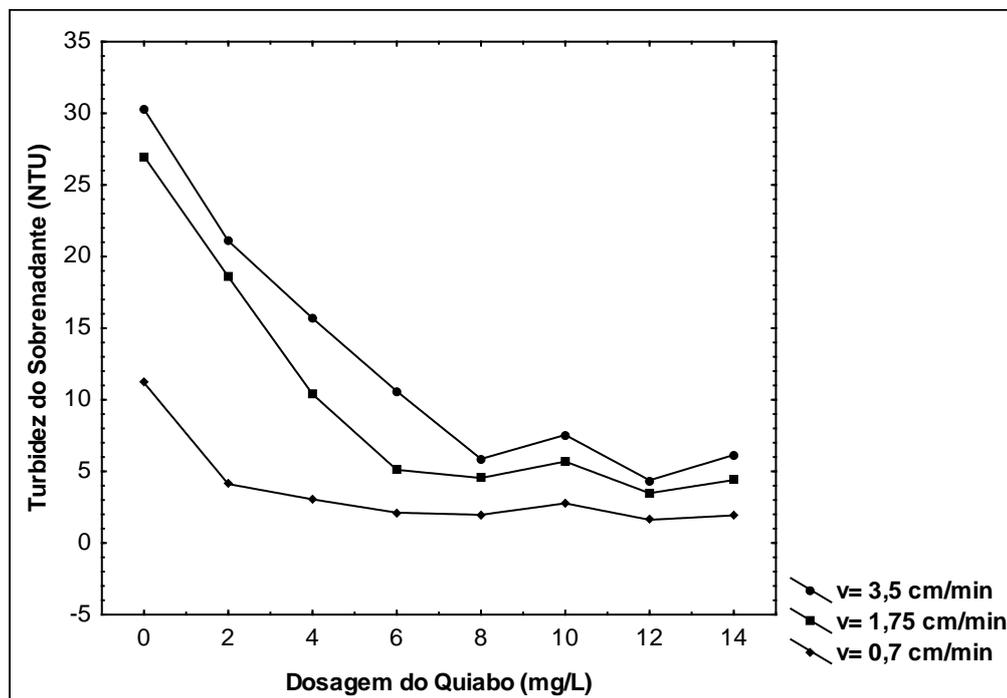
Gráfico 2 - Velocidade de sedimentação usando 20 mg/L do sulfato de alumínio.



Dados da Tabela A39 no APÊNDICE A.

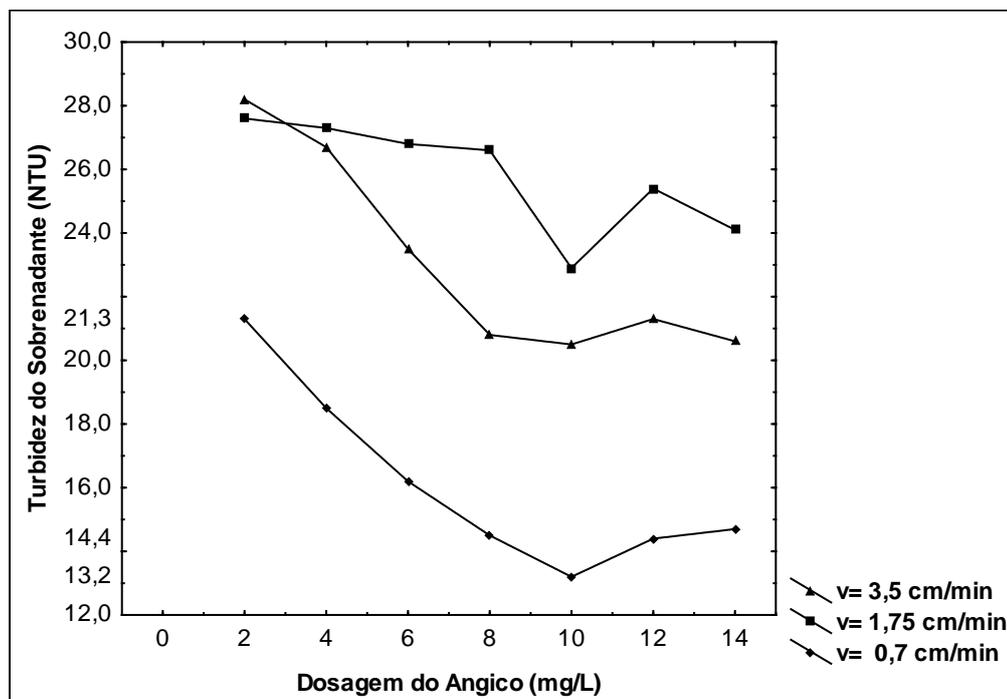
O Gráfico17 acima mostra que a remoção da turbidez ocorreu na velocidade de sedimentação de 0,7 cm/min com eficiência de remoção da turbidez de 69%, logo essa remoção aconteceu no tempo de sedimentação de 10 min, verificando baixa remoção de turbidez para velocidade de 3,5 cm/min com 18%, a remoção é muito significativa para tempo de detenção menor, ou seja, de 10 minutos, (velocidade de sedimentação de 1,0 cm/min). Este equipamento de *Jar Test* contem tomadas de amostras a 7 cm do nível d'água.

Gráfico 18 - Teste da velocidade de sedimentação com a solução de quiabo e 20 mg/L do sulfato de alumínio.



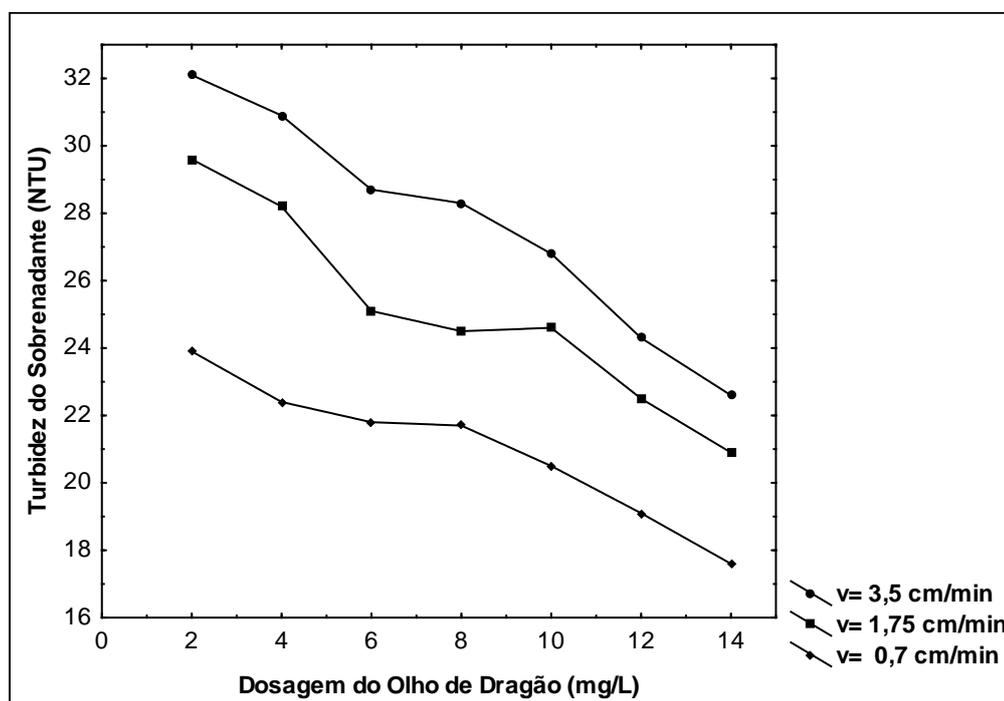
Dados da Tabela A39 no APÊNDICE A.

Gráfico 19 - Teste da velocidade de sedimentação com a solução de angico-vermelho e 20 mg/L do sulfato de alumínio.



Dados da Tabela A41 no APÊNDICE A.

Gráfico 20- Teste da velocidade de sedimentação com a solução de olho-de-dragão e 20 mg/L do sulfato de alumínio.



Dados da Tabela A43 no APÊNDICE A.

Ao término da floculação, foram feitas tomadas das amostras com tempos distintos para determinar a velocidade de sedimentação. A velocidade de sedimentação é determinada em função da relação entre a profundidade e o tempo de sedimentação, sendo que a maioria dos decantadores são projetados com velocidade de sedimentação inferior a 2 cm/min, pois, de acordo com Hudson (1981), esta é a velocidade de assentamento do floco brando de sulfato de alumínio. Ainda de acordo com Di Bernardo (1993), justifica-se a aplicação de polímero para velocidades de sedimentação superiores a este valor, ou ainda, quando os flocos têm baixa velocidade de assentamento. Portanto, são usados tempos de sedimentação que resultem velocidade de, por exemplo: 3,5 cm/min; 1,75 cm/min; 1,17 cm/min; 0,875 e 0,7 cm/min, para profundidade de 7 cm e coleta com 2;4;6;8 e 10 minutos de decantação.

Para velocidade de sedimentação menor (0,70 cm/min) conforme a o Gráfico 18, a remoção da turbidez do conjunto coagulante e polímero natural quiabo foi muito significativa (96%), com dosagem de 12 mg/L, quando comparada com a remoção da turbidez com uso apenas do coagulante (69%). Porém para as velocidades superiores a 1,75 cm/min, foram observadas duas dosagens distintas

com ótima remoção da turbidez com a solução do quiabo, ou seja, dosagens de 8 mg/L e 12 mg/L, que correspondem a cerca de 86% de remoção, respectivamente.

Os polímeros naturais e sintéticos têm eficiência significativa a partir de determinada velocidade de sedimentação superior a 2 cm/min, de acordo com Hudson (1981), ou seja, são recomendáveis para decantadores projetados ou operados com altas velocidades de sedimentação.

Os demais resultados com o angico-vermelho Gráfico 19 e olho-de-dragão Gráfico 20 não foram muito diferentes dos resultados com quiabo, em relação ao tempo da velocidade de sedimentação, onde apresentaram melhor remoção na velocidade de 0,7 cm/min, com 65% de remoção do angico e 55% da solução de olho-de-dragão. Com velocidade de 3,5 cm/min a remoção apresentou 46% e 42% de eficiência de cada um. Os resultados mostram que em comparação entre os três auxiliares testados, o quiabo obteve a melhor remoção, e durante os testes sempre apresentou melhores resultados, seguido do angico-vermelho e do olho-de-dragão. Não se sabe exatamente o fato de o polímero de quiabo apresentar melhores resultados em relação aos demais, mas pode estar ligado a vários fatores como o peso molecular, segundo (LIMA, 2007) quanto maior o tamanho molecular, maior a eficiência da coagulação, da floculação e da sedimentação.

6 CONCLUSÕES

As pesquisas com os auxiliares de floculação levaram às seguintes conclusões:

A obtenção de polímero natural do quiabo em pó usado como auxiliar de floculação, em comparação com os outros polímeros naturais usados nos ensaios como auxiliar de floculação, apresentou maior dificuldade, devido ao seu elevado tempo de secagem;

A solução do polímero natural do quiabo em relação aos demais usados melhorou significativamente a qualidade da água decantada, conforme testes realizados em laboratório, com reator estático (*Jar Test*);

A dosagem do sulfato de alumínio quando usado em conjunto com o polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação poderá ser reduzida com uma dosagem 2 vezes menor do que a dosagem ótima encontrada de 20 mg/L para 10 mg/L, com uma ótima eficiência de remoção dos parâmetros da cor e turbidez;

A utilização de elevadas dosagens dos polímeros 2 a 14 mg/L em conjunto com o coagulante apresentou ótima remoção da turbidez para velocidade de sedimentação de 3,5 a 0,7 cm/min representando tempos de 2 a 10 min;

Os resultados dos ensaios com as sementes de angico-vermelho e olho-de-dragão, não podem ser descartados, pois eles foram testados utilizando as mesmas dosagens dos melhores ensaios com o fruto do quiabo;

Alguns resultados obtidos nos ensaios com o uso dos polímeros no processo coagulação, floculação e sedimentação, foram aceitáveis em comparação com os parâmetros aceitáveis nas indústrias;

A água tratada com polímeros naturais usados como auxiliar de floculação é uma ótima alternativa para as indústrias em geral, considerando a grande importância deste tipo de tratamento tanto econômico, quanto ecológico.

REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Sulfato de Alumínio** - EB-2005 ABNT, Rio de Janeiro, Brasil, 1989.
- AGARWAL, M.S. **Study on Flocculation Efficiency of Okra Gum in Sewage Waste Water**, Macromolecular materials and Engineering. v. 286- 9, 2001.
- AGARWAL, M R. **Utilization of Okra Gum for Treatment of Tannery Effluent**, International Journal of Polymeric Materials. Taylor & Francis, 2003.
- ANGELIS, C. F.; MCGREGOR, G. R.; KIDD, C. **A 3 year climatology of rainfall characteristics over tropical and subtropical South America based on Tropical Rainfall Measuring Mission Precipitation Radar data**. International Journal of Climatology, v. 24, p. 385 – 399. 2004.
- APHA; AWWA; WPCF. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 19th edition. Wasghington D.C. American Public Health Association. p. 953, 1995.
- ARAÚJO, A.M; MELO, M.C.V. **Um plano de amostragem de qualidade d'água em estuários**: Caso do Recife, RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos v. 5, nº 4, 111-120, 2000.
- ARBOLEDA, J. **Teoria y Control de los Procesos de Clarificación del Água**, Cepis, 1972.
- AZEVEDO NETTO et al. **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**. v. 2. 3^a ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
- AWWA - American Water Works Association. **Water Quality and Treatment**, A Handbook of Community Water Supleis, Mac Graw-hill, Inc., 4th Edition, USA, 1990.
- AWWA - American Water Works Association. **Standard for Aluminum Sulfate-Liquid**, Ground, or Lump AWWA, USA, 1993.
- BARROS, M. J.; NOZAKI, J. **Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica**. Quim. Nova, Vol. 25, No. 5, 736-740, 2002.
- BAUMGARTEN, M. G.; POZZA, S. A. **Qualidade de águas. Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. Rio grande: ed. Furg. 166 p, 2001.
- BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da Moringa Oleífera Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, p. 16, Jun. 2001.
- BRAGA, B. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Editora: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março 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. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 16/10/2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde**, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde). Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/vigilancia_controle_qualidade_agua.pdf>. Acesso em: 16/10/2012.

BROWN; LE MAY; BURSTEN. **Química: Ciência Central**. Apostila, 2005.

CAMP. THOMAS; Mc GRAW HILL. **Water its Impurities**. 2ª ed., 1973.

CARDOSO, K. C. **Estudo do processo de coagulação-floculação por meio da moringa Oleífera LAM para obtenção de água potável**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá - PR, 2007.

CARNEIRO, A. de C. O.; VITAL, B. R.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C.; ANDRADE, B. G. de. **Determinação da massa molar de taninos vegetais através da técnica da cromatografia de permeação em gel**. Scientia. Forestalis, Piracicaba - SP, v. 38, n. 87, p. 419-429, 2010.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas. 1039p., 2003.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR, 2008.

COLÉGIO CETÉS. **Saneamento básico – Técnico em Meio Ambiente**, p. 14, 2010.

COSTA, H. L. A. **A problemática dos mananciais de abastecimento do Estado de Goiás**. Goiânia: SANEAGO, 2002.

CROOK, J. Water reclamation and reuse. In: PONTIUS, F. W. (Ed.) **Water quality and treatment – a handbook of community water supplies**. 4. Ed. New York: McGraw-Hill, 1990.

DANTAS, S. T.; GATTI, J. A. B.; SARON, E. S. Embalagens metálicas e a sua interação com alimentos e bebidas. Campinas, SP: CETEA/ITAL, 1999.

DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. ABES, v.1. Rio de Janeiro, 1993.

DI BERNARDO, S. A. **Influência das condições de aplicação de polímeros catiônicos na eficiência da floculação**. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos, 2000.

DI BERNADO, L.; DI BERNADO, A; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água**. São Carlos, RiMa, 2002.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed. v. 1. São Carlos, RiMa, 2005.

ECOLOGIC STATION. Disponível em: < <http://www.ecologicstation.com/?p=1301>>. Acesso em: 05/11/2012.

FALCÃO, R. B. M.; OLIVEIRA, A. P. S. **Projeto água subterrânea no nordeste do Brasil**, 2004. Disponível em: <http://proasne.net/desenvolvimentosustentavel3.htm>>. Acesso em: 10/07/2012.

FANTI, S. C.; PEREZ, S. C. J. G. A. **Influência do sombreamento artificial e da adubação química na produção de mudas de *Adenantha pavonina* L.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 49-56, 2003.

FARIAS, M. S. S. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo**. Campina Grande. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UFCG - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2006.

FAUST; ALY. **Chemical of Water Treatment**. CRC Press, 1998.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV. p. 402, 2000.

FONSECA, S. C. L.; PEREZ, S. C. J. G. A. **Ação do polietileno glicol na germinação de sementes de *Adenantha pavonina* L. e o uso de poliaminas na atenuação do estresse hídrico sob diferentes temperaturas**. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, DF, v. 25, n. 1, p. 1-6, 2003.

FREITAS BESSA, M. **Tratamento de Água para Consumo Humano**. Rio de Janeiro: Fiocruz, Apostila, 1997.

GALLÃO, I. M.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. **Avaliação Química e Estrutural da Semente de Moringa**. Ciência Agronômica, Fortaleza, v.37, n. 1, p.106-109, 2006.

GENG, Y. **Application of Flocc Analysis for Coagulation Optimization at the Splint Lake Water Treatment Plant**. Master of science thesis in Manitoba University Winnipeg , 2005.

GONÇALVES, C. K.; FRANCISCO, B. C.; LIMA, F. B.; OLIVEIRA, K. S.; SANTOS, C. G.; SILVA, M. R.; SILVA, A. F.; QUEIROZ, S. P.; QUEIRÓS, A. C.; TELES, O. T. C.; FERREIRA, G. D.; FRANÇA, N.; MAZON, A. F.; RIGOLIN-SÁ, O. **Caracterização preliminar das variáveis físico-químicas e biológicas das cinco nascentes do Ribeirão Bocaína, município de Passos-MG**. Revista HISPECI & LEMA. v. 6., p. 54-57, 2001.

GREGORY, J.; DUAN, J. **Hidrolizing Metal Salts as Coagulants**, Pure Applied Chemistry. v. 73, n 12. IUPAC, 2001.

GUIGUI, C. R. J.; DURAND-BOULIER, L.; BONNELYE, V. A. P. **Impact of Coagulation conditions on the In-Line Coagulation/UF Process for Drinking Water Production**. Desalination, Elsevier. 147: 95-100. 2002.

HUDSON, H. **Water Clarification Processes**, Van Nostrand Reinhold Company, 1981.

JUNIOR, M. J.; VARANDA, L. C. Química Nova na Escola: **O Mundo dos Colóides**, nº 9, 1999.

KEMIRA. **About Water Treatment**, Kemira, 2003. Disponível em:<<http://www.kemira.com/en/sustainability/pages/default.aspx>> . Acesso em: 27/01/2013.

KROHN, N. G. **Adubação nitrogenada para cultura do quiabeiro e teste de envelhecimento acelerado para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes**. 83 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Univeridade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 2005.

LICÍNIO, P.; DELAYE, M. **Da catarata aos colóides**. Ciência Hoje, v. 6, nº 33, p. 13, 1987.

LIMA, G. J. A. de. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

LIMA, E. B. N. R.; MASCARENHAS, F. C. B.; VIEIRA, R. C.; ZEILHOFER, P. **Evolução da qualidade da água na bacia do rio Cuiabá: Tendências e fatores determinantes**. Universidade Federal de Mato Grosso - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: http://www.abrh.org.br/novo/ii_simp_rec_hidric_centro_oeste_campo_grande60.pdf > Acesso em: 20/11/2012.

LE CHEVALIER, M.; KEUNG AU, K. **Water Treatment and Pathogen Control**. WHO, 2004.

LENZ, G. F.; PERUÇO, J. D. T.; THOMAZINI, M. H.; ROCHA, E. M. S; MOTTA, C. V.; ZARA, R. F. **Ação de polímero natural, extraído do cacto mandacaru (*Cereus jamacaru*), no tratamento de água**. Anais do III ENDICT - Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa: Plantarum. v.1. 352 p., 2000.

MANAHAM. **Environmental Chemical**. Ed.: CRC Press, 2001.

MARON, JR. R. **Reuso de água em indústria metalúrgica rolamenteira** – estudo de caso da SKF do Brasil LTDA. Dissertação mestrado – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 79 p., 2006.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos. 143 p, 2005.

MOTA, S. **Preservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: Editora: ABES, 1995.

MOTA, W. F.; FINGER, F. L.; CASALI, V. W. D. Olericultura: **melhoramento genético do quiabeiro**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitotecnia, 144 p., 2000.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora: ABES, 2003.

MWH. Water Treatment, **Principles and Design**. 2ª ed. Wiley, 2005.

NEBEL, B. J.; WRIGHT, R. T. **Environmental Science**. 7ª ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000.

NOGUEIRA, F. C. B.; CUNHA NETO, F. R. da; ZAMPERO, R.; SABINO, P. H. **Sementes de moringa oleifera e extrato de quiabo no tratamento de efluentes urbanos e industriais**. II Encontro Nacional de Moringa - Universidade José do Rosário Vellano – UNIFENAS. Aracajú –SE. 2010.

PAVANELLI, G. **Eficiência de Diferentes Tipos de Coagulantes, na Coagulação, Floculação e Sedimentação e Água com Cor e Turbidez Elevada**. Dissertação de Mestrado, São Carlos: USP, 2001.

PEIXOTO, J. **Análises físico-químicas: turbidez, cor, pH, temperatura, alcalinidade e dureza**. Laboratório de Tecnologias Ambientais – MIEB, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2007. Disponível em: <<http://www.biologica.eng.uminho.pt/TAEL/downloads/analises/cor%20turbidez%20ph%20t%20alcalinidade%20e%20dureza.pdf>> Acesso em: 09/10/2012.

PERPETUO, E. A. **Parâmetros de caracterização da qualidade das águas e efluentes industriais**. Lab. Microbiologia, CEPEMA-USP. 2011. Disponível em: <<http://www.cepema.usp.br/wp-content/uploads/2011/06/8-Par%C3%A2metros-de-caracteriza%C3%A7%C3%A3o-da-qualidade-das-aguas-e-efluentes-industriais.pdf>>. Acesso em: 17/10/2012.

PERRY, R. H.; CHITON, C. H. **Chemical Engineers' Handbook**. 7th edition. McGraw-Hill: New York, 1997.

PIVELI, R. **Curso Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-Químicos**, Notas de Aula, EEUSP, 2001.

PMB, Prefeitura Municipal de Belém. **Plano Estratégico Municipal para Assentamentos Subnormais. Parte II: Diagnóstico Institucional do Município de Belém-Pará**. Belém: SEGEP, 2001.

RAMOS, J. **Poluição e Contaminação da Orla de Belém-PA**. Capítulo 6, p. 121. IN: UHLY, S. e SOUZA, E. LOPES. A Questão da Água na Grande Belém. 247 p. 2004.

RAVINA, L. **Coagulation & Flocculation**. Zeta-Meter Inc, 1993.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras Editora. 688 p. 2004.

REYNOLDS, T. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**, PWS Publishers, 1982.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação da Moringa Oleífera no Tratamento de Água para Consumo Humano. Remoção de Poluentes por Coagulação-Floculação**. Dissertação de Mestrado. FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2010.

RITCHER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água – tecnologia atualizada**, São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1991.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo. Editora: Blucher, 2009.

ROCHOW, E. G. **Silicon and silicones: about stone-age tools, antique pottery, modern ceramics, computers, space, materials and how they all got that way**. Berlim: Spring-Verlog, p.180, 1987.

SANKS, R. (ed). **Water Treatment Plant Design**. 4ª ed, 1982.

SANTOS, J. **Taninos**. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Engenharia Agrícola e Ambiental – EAA1 Egídio Bezerra Neto – Bioquímica Vegetal. Recife – PE, 2010. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAA2_wAJ/tanino>. Acesso em: 27/01/13.

SAWYER, C. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemidtry for environmental engineering**. 4º ed. New York.McGraw-Hill Book Company. 658p. 1994.

SBQ – Sociedade Brasileira de Química, Disponível em: <<http://qnint.sbq.org.br/qni/visualizarConceito.php?idConceito=26>>. Acesso em: 23/01/2013.

SCHLEITER, I. M.; BORCHARDT, D.; WAGNER, R.; DAPPER, T.; SCHMIDT, K. D.; SCHMIDT, H. H; WERNER, H. **Modelling water quality, bioindication and population dynamics in lotic ecosystems using neural networks**. Ecological Modelling. v.120, p. 271-286. 1999.

SENGIK, E. **Os Colóides do Solo**. Apostila, 2005.

SILVA, M. O. S. **Análises físico-químicas para controle de estações tratamento de esgotos**. 1990.

SILVA, S. T. **Estudo de Tratabilidade Físico-Química com uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento e de Esgoto**. Dissertação de Mestrado, Fiocruz, 1999.

SILVA, D.; CORRÊA, P.; FIRME, L.; NEVES, L. **Caracterização Físico-Química De Frutos De Quatro Cultivares De Quiabo**. v.23, n.3, p.722-725, Brasília: Horticultura Brasileira, 2005.

SILVA, A. E. P.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. **Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus**. Acta Amazonica. v. 38, n. 4, p. 733 – 742. 2008.

SHAW, D. J. **Introdução à química de colóides e de superfícies**. Trad. Maar, J. H. São Paulo. Editora: Edgard Blucher/Edusp, 1975.

SPERLING, M. V. **"Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos"**, DESA-UFMG, Belo Horizonte, 1996.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3 ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005.

STATSOFT, Inc. (2004). STATISTICA (data analysis software system), version 7. Disponível em: (www.statsoft.com).

TACO - **Tabela brasileira de composição de alimentos**, 4ª edição revisada e ampliada, Campinas – SP, 2011. Disponível em: < http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf>. Acesso em: 05/11/2012.

TOLEDO, R. A. S. **Tecnologia da Reciclagem**. Química Têxtil, p.8-14, 2004.

TOWNSED, C. R.; RILEY, R. H. Assessment of river health: accounting for perturbation pathways in physical and ecological space. **Freshwater Biology**. v. 41, p. 393-405. 1999.

TUCCI, C. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. 3ª ed. Escrituras Editora de São Paulo, 2006.

VASCONCELOS, V. de M. M.; SOUZA, C. F. **Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 6, n. 2, p. 305-324, 2011.

WAGNER, E. G.; PINHEIRO, R. G. **Upgrading Water Treatment Plants**. Spon Press, 2001.

WATERMAN, P. G.; MOLE, S. **Analysis of phenolic plant metabolites**. London: Blackwell Scientific Publications, 238 p., 1994.

ZUMACH, R. **Enquadramento de curso de água Rio Itajaí- Açú e seus principais efluentes em Blumenau**. Florianópolis. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 2003.

APÊNDICE A

ENSAIOS REALIZADOS COM A ÁGUA DO RIO GUAMÁ Tabelas Resultantes dos Melhores Ensaios (*Jar Test*)

1 BELÉM (PA)

1.1 RIO GUAMÁ

Manancial é o Rio Guamá em Belém/PA que apresentou em média os seguintes parâmetros:

Alcalinidade = 14 mg/L de CaCO₃; pH = 6,07; Temperatura = 27,8 °C; Cor aparente da água bruta = 110,9 uH; Cor verdadeira = 57,5 uH; Turbidez da água bruta = 39,9 NTU.

1ª ETAPA: Concentração: 10 g/L ---- 2L (JARRO) ---- 5mg/L de Sulfato de Alumínio (Al₂(SO₄)₃) e Alcalinizante (NaOH) 10 g/L com as mesmas dosagens. As dosagens usadas foram de: 5 a 100 mg/L. Estão tabelados os três melhores ensaios desta etapa.

TESTE COM SULFATO DE ALUMÍNIO (Al₂(SO₄)₃)

Tabela A1 – Dados do 1º ensaio com sulfato de alumínio.

1º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Al ₂ (SO ₄) ₃ (mg/L)	5,5	7,5	10,5	12,5	15,5	17,5
	Turbidez	10,7	8,32	5,54	4,01	3,75	4,15
	Cor	10	10	10	7,5	5	7,5
	pH	6,56	6,50	6,80	6,83	6,98	7,03

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores de: alcalinidade = 17 mg/L de CaCO₃; pH = 6,28; cor aparente = 100 uH e turbidez = 38,5 NTU.

Tabela A2 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	72%	78%	85%	89%	90%	89%
Cor aparente	90%	90%	90%	92%	95%	92%

Tabela A3 – Dados do 2º ensaio com sulfato de alumínio.

2º ENSAO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	5	15	25	35	45	55
	Turbidez	9,88	4,08	3,17	4,62	5,75	4,73
	Cor	10	7,5	5	5	7,5	7,5
	pH	6,64	6,55	7,00	7,00	7,04	6,85

A água bruta no momento do 2º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 16 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,21; cor aparente = 100 uH e turbidez = 36,1 NTU.

Tabela A4 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	72%	88%	91%	87%	84%	87%
Cor aparente	90%	92%	95%	95%	92%	92%

Tabela A5 - Dados do 3º ensaio com sulfato de alumínio.

3º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	10	20	30	40	50	60
	Turbidez	6,76	3,04	4,23	3,82	4,10	4,11
	Cor	2,5	2,5	5	5	7,5	7,5
	pH	6,96	7,21	6,75	6,52	7,00	7,00

A água bruta no momento do 3º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 14 mg/L de $CaCO_3$; pH = 5,94; cor aparente = 100 uH e turbidez = 38,2 NTU.

Tabela A6 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 3º ensaio.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	82%	92%	89%	90%	89%	89%
Cor aparente	97%	97%	95%	95%	92%	92%

OBS: Os testes feitos com o quiabo foram usados como referência para os demais. Onde se usou as mesmas dosagens para nível de comparação com os outros polímeros naturais (usados como auxiliares de floculação).

2ª ETAPA: Concentração: 0,1 g/L ----- 2L (JARRO) ---- 0,05mg/L. Testes com os polímeros usados como auxiliares de floculação. Foram usadas dosagens de: 0,1 a 3 mg/L. Nesta etapa estão tabelados os três melhores ensaios com o quiabo, e conseqüentemente estão tabelados três ensaios com o angico-vermelho e três ensaios com o olho-de-dragão, por estarem testando as melhores dosagens usadas com quiabo.

TESTE COM QUIABO

Tabela A7 - Dados do 1º ensaio com polímero de quiabo.

1º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Quiabo (mg/L)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	Turbidez	18,6	18,2	18,4	17,5	17,9	18,8
	Cor	20	20	20	15	17,5	20
	pH	6,77	6,90	7,03	7,01	7,03	7,04

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 13 mg/L de CaCO₃; pH = 5,73; cor aparente = 120 uH e turbidez = 42,3 NTU.

Tabela A8 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio com quiabo.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	56%	57%	56%	58%	57%	55%
Cor aparente	83%	83%	83%	87%	85%	83%

Tabela A9 - Dados do 2º ensaio com polímero de quiabo.

2º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Quiabo (mg/L)	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65
	Turbidez	16,7	17,3	16,8	15,5	15,3	15,1
	Cor aparente	17,5	17,5	17,5	17,5	15	15
	pH	6,78	6,69	6,86	7,05	7,05	7,07

A água bruta no momento do 2º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 13 mg/L de CaCO₃; pH = 5,77; cor aparente = 140 uH e turbidez = 44,8 NTU.

Tabela A10 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio com quiabo.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	62%	61%	62%	65%	66%	66%
Cor aparente	87%	87%	87%	87%	89%	89%

Tabela A11 - Dados do 3º ensaio com polímero de quiabo.

3º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Quiabo (mg/L)	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4
	Turbidez	12,3	13,7	14,3	14,2	14,4	14,9
	Cor	15	15	15	15	15	15
	pH	7,00	7,04	7,04	7,10	7,14	7,14

A água bruta no momento do 3º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 16 mg/L de CaCO₃; pH = 6,11; cor aparente = 120 uH e turbidez = 42,7 NTU.

Tabela A12 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 3º ensaio com quiabo.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	71%	68%	66%	66%	66%	65%
Cor aparente	87%	87%	87%	87%	87%	87%

TESTE COM ANGICO VERMELHO

Tabela A13 - Dados do 1º ensaio com polímero de angico-vermelho.

1º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Angico Vermelho (mg/L)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	Turbidez	27,4	26,5	28,7	28,1	27,8	25,6
	Cor	30	30	30	30	30	30
	pH	6,72	6,87	7,00	7,00	7,01	7,06

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 16 mg/L de CaCO₃; pH = 6,12; cor aparente = 80 uH e turbidez = 36,4 NTU.

Tabela A14 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio com AV.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	25%	27%	21%	23%	23%	29%
Cor aparente	62%	62%	62%	62%	62%	62%

Tabela A15 - Dados do 2º ensaio com polímero de angico-vermelho.

2º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Angico Vermelho (mg/L)	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65
	Turbidez	26,3	24,7	23,8	25,2	24,9	23,1
	Cor aparente	30	30	25	30	30	30
	pH	7,10	6,87	7,24	7,12	7,02	6,96

A água bruta no momento do 2º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 14 mg/L de CaCO₃; pH = 5,97; cor aparente = 100 uH e turbidez = 39,8 NTU.

Tabela A16 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio com A.V.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	34%	38%	40%	36%	37%	42%
Cor aparente	70%	70%	75%	70%	70%	70%

Tabela A17 - Dados do 3º ensaio com polímero de angico-vermelho.

3º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Angico Vermelho (mg/L)	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4
	Turbidez	22,3	21,1	23,3	23,5	20,7	21,2
	Cor	25	25	30	25	25	25
	pH	7,57	7,46	7,25	7,38	7,23	7,22

A água bruta no momento do 3º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 12 mg/L de CaCO₃; pH = 5,85; cor aparente = 100 uH e turbidez = 40,7 NTU.

Tabela A18 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 3º ensaio com AV.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	45%	48%	42%	42%	49%	48%
Cor aparente	75%	75%	75%	75%	75%	75%

TESTE COM OLHO DE DRAGÃO

Tabela A19 - Dados do 1º ensaio com polímero de olho-de-dragão.

1º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Olho de Dragão (mg/L)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	Turbidez	34,2	32,5	32,7	30,9	30,6	31,4
	Cor	60	60	60	50	50	50
	pH	7,39	7,42	7,53	7,13	7,02	7,04

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 13 mg/L de CaCO₃; pH = 5,87; cor aparente = 100 uH e turbidez = 38,8 NTU.

Tabela A20 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio com OD.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	12%	16%	16%	20%	21%	19%
Cor aparente	40%	40%	40%	50%	50%	50%

Tabela A21 - Dados do 2º ensaio com polímero de olho-de-dragão.

2º TESTE	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Olho de Dragão (mg/L)	0,15	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65
	Turbidez	33,6	32,5	30,8	28,3	26,5	26,8
	Cor aparente	60	50	40	40	40	40
	pH	6,87	7,01	7,09	7,05	7,06	7,07

A água bruta no momento do 2º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 14 mg/L de CaCO₃; pH = 6,07; cor aparente = 100 uH e turbidez = 38,5 NTU.

Tabela A22 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 2º ensaio com OD.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	13%	15%	20%	26%	31%	30%
Cor aparente	40%	50%	60%	60%	60%	60%

3ª ETAPA: Nestes ensaios foram feitos testes usando diferentes dosagens dos polímeros em conjunto com uma dosagem baixa de sulfato de alumínio (10 mg/L) para verificar se será possível reduzir a dosagem deste quando usado em conjunto com o polímero natural ou auxiliar de floculação; testes com a melhor concentração do coagulante 20 mg/L em conjunto com a melhor dosagem de cada polímero usado (quiabo 1,4 mg/L; angico-vermelho 2,2 mg/L; olho de dragão 2,4 mg/L) para verificar a eficiência dos polímeros em conjunto com o coagulante e analisou-se o tempo de sedimentação, que foram: 10; 20; 30; 40; 50 e 60 minutos; e teste com a dosagem ótima do coagulante (20 mg/L) sem o polímero em relação ao tempo de sedimentação (10; 20; 30; 40; 50 e 60 minutos).

TESTE COM QUIABO

Tabela A25 – Resultados do 1º ensaio do coagulante + polímero de quiabo.

1º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	10	10	10	10	10	10
	Dosagem do Quiabo (mg/L)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	Turbidez	7,68	5,32	4,71	3,88	2,94	2,79
	Cor	10	5	5	5	2,5	2,5
	pH	6,56	6,51	7,05	7,00	6,90	6,97

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 12 mg/L de $CaCO_3$; pH = 5,95; cor aparente = 120 uH e turbidez = 43,8 NTU.

Tabela A26 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio coagulante + P.Q.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	82%	87%	89%	91%	93%	94%
Cor aparente	92%	96%	96%	96%	98%	98%

Tabela A27 – Resultados do coagulante + P.Q para tempo de sedimentação.

2º ENSAIO	JARRO/PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	20	20	20	20	20	20
	Dosagem do Quiabo (mg/L)	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	Tempo de sedimentação (min)	10	20	30	40	50	60
	Turbidez	4,98	2,50	2,12	1,09	2,10	2,01

A água bruta no momento do 2º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 13 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,35; cor aparente = 120 uH e turbidez = 43,4 NTU.

O pH ótimo de coagulação = 7,09.

Tabela A28 – E.R (%) da Turbidez em relação ao T.S utilizando coagulante + P.Q.

JARRO/PARÂMETRO (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez x T.S	88%	94%	95%	97%	95%	95%

TESTE COM ANGICO VERMELHO

Tabela A29 - Resultados do 1º ensaio do coagulante + polímero de AV.

1º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	10	10	10	10	10	10
	Dosagem do Angico Vermelho (mg/L)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	Turbidez	5,15	23,5	22,7	21,8	19,2	21,6
	Cor	5	25	25	25	20	20
	pH	6,78	7,08	6,94	7,11	7,17	7,09

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 12 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,01; cor aparente = 120 uH e turbidez = 42,3 NTU.

Tabela A30 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio coagulante + P. AV.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	87%	44%	46%	48%	54%	49%
Cor aparente	96%	79%	79%	79%	83%	83%

Tabela A31 - Resultados do coagulante + polímero de AV para tempo de sedimentação.

2º ENSAIO	JARRO/PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	20	20	20	20	20	20
	Dosagem do Angico Vermelho (mg/L)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	Tempo de sedimentação (min)	10	20	30	40	50	60
	Turbidez	23,2	22,5	21,8	20,0	19,9	18,6

A água bruta no momento do 2º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 13 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,11; cor aparente = 120 uH e turbidez = 41,1 NTU.

O pH ótimo de coagulação = 6,71

Tabela A32 – E.R (%) da Turbidez em relação ao T.S utilizando coagulante + AV.

JARRO/PARÂMETRO (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez x T.S	43%	45%	47%	51%	51%	55%

TESTE COM OLHO DE DRAGÃO

Tabela A33 - Resultados do 1º ensaio do coagulante + polímero de olho-de-dragão.

1º ENSAIO	JARRO/PARÂMETROS	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	10	10	10	10	10	10
	Dosagem do Olho de Dragão (mg/L)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	Turbidez	5,18	27,3	26,6	27,6	26,3	25,9
	Cor	5	25	25	30	25	25
	pH	6,76	6,99	7,05	7,11	7,08	7,05

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 15 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,15; cor aparente = 120 uH e turbidez = 43,9 NTU.

Tabela A34 – Eficiência de remoção (%) da turbidez e cor do 1º ensaio coagulante + P. OD.

JARRO/PARÂMETROS (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	88%	38%	39%	37%	40	41%
Cor aparente	96%	79%	79%	75%	79%	79%

Tabela A35 - Resultados do coagulante + polímero de OD para tempo de sedimentação.

2º ENSAIO	JARRO/PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	20	20	20	20	20	20
	Dosagem do Olho de Dragão (mg/L)	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
	Tempo de sedimentação (min)	10	20	30	40	50	60
	Turbidez	29,7	25,6	25,1	24,5	24,8	24,6

A água bruta no momento do 2º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 15 mg/L de CaCO₃; pH = 6,18; cor aparente = 120 uH e turbidez = 41,2 NTU. O pH ótimo de coagulação = 7,16.

Tabela A36 – E.R (%) da Turbidez em relação ao T.S utilizando coagulante + OD.

JARRO/PARÂMETRO (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez x T.S	28%	38%	39%	40%	40%	40

Tabela A37 - Teste de tempo de sedimentação com dosagem ótima do coagulante 20 mg/L.

3º ENSAIO	JARRO/PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6
	Dosagem do Al₂(SO₄)₃ (mg/L)	20	20	20	20	20	20
	Tempo de sedimentação (min)	10	20	30	40	50	60
	Turbidez	3,47	2,76	4,85	6,61	5,67	10,4

A água bruta no momento do 3º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 13 mg/L de CaCO₃; pH = 6,10; cor aparente = 100 uH e turbidez = 35,6 NTU.

O pH ótimo de coagulação = 6,79

Tabela A38 – E.R (%) da turbidez em relação ao tempo de sedimentação do coagulante 20 mg/L.

JARRO/PARÂMETRO (%)	1	2	3	4	5	6
Turbidez	90%	92%	86%	81%	84%	70%

4ª ETAPA: Determinação do tempo de sedimentação e velocidade de sedimentação com a melhor dosagem do sulfato e variando as dosagens dos polímeros. Dosagens variando de: 2 a 14 mg/L.

TESTE COM QUIABO

Tabela A39 – Velocidade de sedimentação do coagulante + polímero de quiabo.

JARRO/PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6	7	8
Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	20	20	20	20	20	20	20	20
Dosagem do Quiabo (mg/L)	0	2	4	6	8	10	12	14
Turbidez								
Tempo de sedimentação (min): 2; 4; 6; 8 e 10 min								
Velocidade de sedimentação (cm/min)								
3,5	30,3	21,1	15,7	10,6	5,87	7,55	4,38	6,15
1,75	27,0	18,6	10,4	5,11	4,54	5,69	3,48	4,40
1,17	23,8	14,5	9,18	4,07	3,76	6,09	3,11	4,57
0,875	19,6	8,24	6,15	3,32	2,31	3,99	2,30	2,80
0,7	11,2	4,12	3,05	2,12	1,97	2,77	1,62	1,93

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 16 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,20; cor aparente = 100 uH e turbidez = 37,2 NTU.

O pH ótimo de coagulação = 7,02

Tabela A40 – E.R (%) da turbidez para velocidade de sedimentação usando o P.Q.

JARRO/PARÂMETRO (%)	1	2	3	4	5	6	7	8
Turbidez								
Velocidade de sedimentação (cm/min)								
3,5	18%	43%	58%	71%	84%	80%	88%	83%
1,75	27%	50%	72%	86%	88%	85%	91%	88%
1,17	36%	61%	75%	89%	90%	84%	92%	88%
0,875	47%	78%	83%	91%	94%	89%	93%	92%
0,7	69%	89%	92%	94%	95%	92%	96%	95%

TESTE COM ANGICO VERMELHO

Tabela A41 - Velocidade de sedimentação do coagulante + polímero de AV.

JARRO/PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6	7
Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	20	20	20	20	20	20	20
Dosagem do Angico-Vermelho (mg/L)	2	4	6	8	10	12	14
Turbidez							
Tempo de sedimentação (min): 2; 4; 6; 8 e 10 min							
Velocidade de sedimentação (cm/min)							
3,5	28,2	26,7	23,5	20,8	20,5	21,3	20,6
1,75	27,6	27,3	26,8	26,6	19,5	25,4	24,1
1,17	21,1	20,3	19,7	18,4	17,6	16,9	16,2
0,875	20,3	19,4	17,1	16,5	16,8	17,1	15,6
0,7	21,3	18,5	16,2	14,5	13,2	14,4	14,7

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 14 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,22; cor aparente = 80 uH e turbidez = 37,7 NTU. O pH ótimo de coagulação = 7,13.

Tabela A42 – E.R (%) da turbidez para velocidade de sedimentação usando o P. AV.

JARRO/PARÂMETRO (%)	1	2	3	4	5	6	7
Turbidez							
Velocidade de sedimentação (cm/min)							
3,5	25%	29%	38%	45%	46%	43%	45%
1,75	27%	27%	29%	29%	48%	33%	36%
1,17	44%	46%	47%	51%	53%	55%	57%
0,875	46%	48%	55%	56%	55%	55%	59%
0,7	43%	51%	57%	61%	65%	62%	61%

TESTE COM OLHO DE DRAGÃO

Tabela A43 - Velocidade de sedimentação do coagulante + polímero de OD.

JARRO/PARÂMETRO	1	2	3	4	5	6	7
Dosagem do $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	20	20	20	20	20	20	20
Dosagem do Olho-de-Dragão (mg/L)	2	4	6	8	10	12	14
Turbidez							
Tempo de sedimentação (min): 2; 4; 6; 8 e 10 min							
Velocidade de sedimentação (cm/min)							
3,5	32,1	30,9	28,7	28,3	26,8	24,3	22,6
1,75	29,6	28,2	25,1	24,5	24,6	22,5	20,9
1,17	25,7	26,4	24,8	24,2	23,1	21,2	20,3
0,875	25,1	24,6	23,3	22,9	21,7	21,0	18,5
0,7	23,9	22,4	21,8	21,7	20,5	19,1	17,6

A água bruta no momento do 1º ensaio apresentou os seguintes valores para: alcalinidade = 15 mg/L de $CaCO_3$; pH = 6,19; cor aparente = 100 uH turbidez = 39,3 NTU. O pH ótimo de coagulação = 6,88.

Tabela A44 – E.R (%) da turbidez para velocidade de sedimentação usando o P.
OD.

JARRO/PARÂMETRO (%)	1	2	3	4	5	6	7
Turbidez							
Velocidade de sedimentação (cm/min)							
3,5	18%	21%	27%	28%	32%	38%	42%
1,75	25%	28%	36%	38%	37%	43%	47%
1,17	35%	33%	37%	38%	41%	46%	48%
0,875	36%	37%	41%	42%	45%	46%	53%
0,7	39%	43%	44%	45%	48%	51%	55%