

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS E
QUÍMICOS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ÁGUA PILOTO (ETA-PILOTO)**

MARIA EMÍLIA TRANCHES SIQUEIRA

Orientadora: Prof^a Dr^a Rosângela Bergamasco

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Química, área Desenvolvimento de Processos.

Maringá – PR – Brasil

Julho de 2009

Universidade Estadual de Maringá. Programa de pós Graduação em Engenharia Química.

S618e Estudo da utilização de coagulantes naturais e químicos em uma estação de tratamento de água piloto (ETA-Piloto) / Maria Emília Tranches Siqueira/Dr. Rosângela Bergamasco. Maringá. UEM, jul, 2009.
91p.

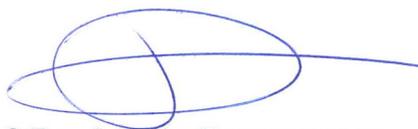
1. Tratamento de água. 2. Coagulação. 3. Coagulantes Naturais. I. Siqueira, Maria Emília Tranches. II. Título.

CDU 628.16

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Dissertação de Mestrado apresentada por Maria Emília Tranches Siqueira perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Engenharia Química em 07 de julho de 2009.

COMISSÃO JULGADORA



Profª Drª Rosângela Bergamasco
Orientadora



Profª Drª Angélica Marquetotti Salcedo Vieira
Membro



Profª Drª Maria Cristina Rizk
Membro

SIQUEIRA, MARIA EMÍLIA TRANCHES
Estudo da Utilização de
Coagulação Naturais e químicos em
uma Estação de Tratamento de Água
Piloto (ETA-piloto) [Paraná] 2009.

XII, 91 p., 29,7 cm (PEQ/UEM, Mcs.,
Engenharia Química, 2009).

Dissertação – Universidade Estadual
de Maringá – PEQ.

1. Tratamento de água

2. Coagulantes Naturais

I. PEQ/UEM II. Título (série)

***“Se queres tratar com água, consulte
primeiro a experiência e depois a razão.”
(Leonardo Da Vince)***

*Dedico a meus pais que sempre me
apoiaram em todas minhas escolhas.*

AGRADECIMENTOS

À **DEUS**, por cada manhã, ensolarada ou chuvosa por me dar forças para seguir em frente.

Aos meus pais, **Joaquim** e **Marlene** pelo apoio e compreensão durante toda minha caminhada, por seu amor incondicional, e a meu irmão, **Tiago**, pelo incentivo, amizade e carinho, sem vocês não sou nada.

À professora, **Rosângela**, por todo ensinamento, por toda ajuda e por acreditar que eu seria capaz.

À **Sanepar – Maringá**, em especial ao **Arcione**, que esteve sempre disposto a ajudar, cedendo as amostras de água e informações sobre a mesma, que tanto me ajudaram.

À **DCS**, especialmente ao Sr. **Ademir**, que sempre esteve pronto a me ajudar durante as coletas das amostras.

À **Beatriz**, que foi fundamental para a realização de todo o trabalho, ajudando nas análises, ouvindo minhas idéias e minhas queixas.

À **Leila** pela ajuda fundamental no início do trabalho.

À **Grasi** por estar sempre pronta a ajudar sempre que precisei.

À amiga **Franciélle Girardi**, pela força nos momentos difíceis, pelo apoio no laboratório, pelos domingos de estudo, pelas risadas e pela amizade que o mestrado nos fez construir. Aos amigos que iniciaram o mestrado comigo, **Vanessa, Paulo, Francielle Fenerich, Hudson**, com os quais perdi dias estudando, mas também passei bons momentos. Aos demais **amigos** que encontrei nessa caminhada que foram muito importantes e que tanto me ajudaram.

Aos **funcionários do DEQ** pelo apoio no decorrer do trabalho.

Ao **Departamento de Engenharia Química** da Universidade Estadual de Maringá, pela oportunidade profissional.

À **CAPES** e ao **CNPq**, pelo incentivo à pesquisa.

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE COAGULANTES NATURAIS E QUÍMICOS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PILOTO (ETA-PILOTO)

AUTORA: MARIA EMÍLIA TRANCHES SIQUEIRA

ORIENTADORA: PROF^a ROSÂNGELA BERGAMASCO, D.Sc.

Dissertação de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química; Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46-09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brasil, defendida em 7 de julho de 2009. 91 p.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar o uso de coagulantes naturais e o Hidroxicloreto de Alumínio (PCA) no processo de coagulação/floculação aplicados a uma estação de tratamento de água piloto, para obtenção de água potável. Avaliou-se também a associação destes com o coagulante químico PCA. Os coagulantes naturais apresentam uma alternativa de tecnologia limpa, pois geram menos resíduos, e acredita-se que tais resíduos sejam biodegradáveis.

Foram realizados, no módulo piloto, ensaios com os coagulantes PCA, Quitosana, Moringa, Tanfloc e as associações de: PCA e Quitosana, PCA e Moringa, PCA e Tanfloc. As condições de funcionamento do módulo piloto foram reproduzidas de forma semelhante a estação de tratamento de água - ETA, da cidade de Maringá. Na água produzida foram feitas análises dos parâmetros previstos pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

O lodo gerado durante o processo de coagulação/floculação foi analisado quanto ao volume, a biodegradabilidade e os gases formados durante o ensaio de biodegradabilidade.

Os coagulantes naturais foram eficientes no processo de coagulação/floculação na Estação de Tratamento de Água piloto. As remoções de cor aparente, turbidez e compostos de absorção UV foram superiores a 90%.

O volume de lodo formado tanto pelo uso dos coagulantes naturais, como pela associação destes com o PCA foi menor em relação ao volume de lodo gerado pela coagulação/floculação com o PCA isoladamente.

Assim pode-se concluir que a utilização dos coagulantes naturais seja isoladamente ou em associação ao PCA é uma alternativa ao processo de produção de água potável, pois apresenta bons resultados em relação a remoção de impurezas e forma menor quantidade de resíduo sólido (lodo) e acredita-se que esse é biodegradável.

Palavras Chave: ETA piloto, coagulantes naturais, lodo.

STUDY OF THE USE OF NATURAL AND CHEMICAL COAGULANT ON A WATER TREATMENT STATION PILOT (PILOT ETA)

AUTHOR: MARIA EMÍLIA TRANCHES SIQUEIRA

SUPERVISOR: PROF^a ROSÂNGELA BERGAMASCO, D.Sc.

Master Thesis; Chemical Engineering Graduate Program, State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46-09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brazil, presented on 7th July 2009. 91p.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the using of natural and chemical coagulants in the coagulation / flocculation applied to a treatment station of pilot water for obtaining drinking water. It also had been evaluated the association of the chemical coagulant PCA. The natural coagulants present a clean technology alternative because it generates less sludge and it is believed that such sludge is biodegradable.

The test had been carried out in pilot module, and it had been studied the following coagulants: PCA, Chitosan, Moringa, Tanfloc and associations: and Chitosan PCA, PCA and Moringa, PCA and Tanfloc. The operational conditions of the pilot module had been reproduced in a similar way to the water treatment plant - ETA, the city of Maringá. The treated in water was analyzed in comparison to the parameters established at Portaria 518/2004 of the Ministry of Health.

The sludge generated during the coagulation / flocculation was analyzed in terms of its volume, the biodegradability and the gases formed during the degradation test. The natural coagulants were efficient in the process of coagulation / flocculation in the water treatment plant pilot. The removal of apparent color, turbidity and UV-absorbing compounds were higher than 90%.

The volume of sludge formed by using of natural coagulants was lower in relation to the volume of sludge generated by the coagulation / flocculation with the PCA. In the association between natural coagulants and PCA it had been observed a reduction in the volume of sludge formed on the use of PCA alone.

The use of natural coagulants, alone or in association with the PCA is an alternative to the process of producing drinking water, because it showed good results for the removal of impurities produced smaller amount ,Which is probably biodegradable.

Keywords: ETA pilot, natural coagulants, sludge.

Índice

LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Água.....	4
3.2 INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	5
3.2.1 – Características Físicas da Água.....	5
Cor.....	6
Turbidez.....	6
Sólidos.....	6
Temperatura.....	6
3.2.2 – Características Químicas da Água.....	7
pH.....	7
Alcalinidade e Acidez.....	7
Dureza.....	7
Metais, não-metais e metalóides.....	8
Ferro.....	8
Manganês.....	8
Zinco.....	8
Alumínio.....	9
Cobre.....	9
Metais Pesados.....	9
3.2.3 – Características Microbiológicas da Água.....	9
3.3 – Tratamento.....	10
3.3.1 - Pré tratamento.....	10
3.3.2 - Coagulação/Floculação.....	10
Mecanismos de Coagulação.....	12
Compressão da Camada Difusa.....	12
Adsorção e Neutralização de Cargas.....	12
Varredura.....	12
Adsorção e Formação de Pontes.....	13
Coagulantes.....	13
Coagulantes Químicos.....	13
Sulfato de Alumínio.....	14
Hidroxiclreto de Alumínio ou Policloreto de Alumínio (PAC).....	15
Coagulantes Naturais.....	16
Moringa oleifera.....	17
Quitosana.....	19
Tanfloc.....	22
Taninos hidrolisáveis.....	22
Taninos condensados.....	23
Taninos complexos.....	23

<i>Florotaninos</i>	23
3.3.3 - Sedimentação	25
3.3.4 - Filtração.....	25
3.4 – Lodos da Estação de Tratamento de Água	26
3.4.1 - Características gerais do lodo de ETA	27
3.5 – Biodegradabilidade	27
METODOLOGIA	29
4.1 Caracterização da Água Utilizada.....	29
Cor Aparente e Verdadeira.....	30
Turbidez.....	30
Materiais com Faixa de Absorção em UV-254 nm	30
pH	30
Condutividade.....	31
Oxigênio Dissolvido (OD)	31
Formas de Nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) e Fosfato.....	31
Sólidos	31
Alcalinidade e Acidez Volátil.....	31
Dureza	31
Metais	31
Coliformes Totais e Escherichia coli.....	32
4.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE AGUA PILOTO	32
4.3 LODO	36
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
5.1 – Água de Baixa Cor e Turbidez	38
5.1.1 – Caracterização da água bruta	38
5.1.2 – Caracterização da água tratada com PCA (Cloro de Polialumínio) na ETA piloto	39
5.1.3 – Caracterização da água tratada com Quitosana na ETA piloto	41
5.1.4 – Caracterização da água tratada com Moringa na ETA piloto	42
5.1.5 – Caracterização da água tratada com Tanfloc na ETA piloto	44
5.1.6 – Caracterização de água tratada com Quitosana associada ao PCA na ETA piloto	45
5.1.7 – Caracterização da água tratada com Moringa associada ao PCA na ETA piloto	47
5.1.8 – Caracterização da água tratada com Tanfloc associado ao PCA na ETA piloto.....	48
5.2 – Água bruta de alta cor e turbidez	53
5.2.1 – Caracterização da água bruta de alta cor e turbidez na ETA piloto	53
5.2.2 – Caracterização da água tratada com PCA (cloro de polialumínio).....	54
5.2.3 – Caracterização da água tratada com Quitosana na ETA piloto	56
5.2.4 – Caracterização da água tratada com Moringa na ETA piloto	57
5.2.5 – Caracterização da água tratada com Tanfloc na ETA piloto	58
5.2.6 – Caracterização da água tratada com Quitosana associada ao PCA na ETA piloto	60
5.2.7 – Caracterização da água tratada com Moringa associada ao PCA na ETA piloto	61
5.2.8 – Caracterização da água tratada com Tanfloc associado ao PCA na ETA piloto.....	62
5.3 – LODO FORMADO NA ETA	66
5.3.1 – BIODEGRADABILIDADE DO LODO FORMADO NA ETA.....	67
CONCLUSÕES	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	84

Lista de Figuras

Figura 3.1: Moringa oleifera.....	18
Figura 3.2: Vagens e sementes com e sem casca de <i>Moringa oleifera</i>	19
Figura 3.3: Unidade de repetição monomérica da quitosana.....	20
Figura 3.4 – Esquema de preparação de quitina e quitosana a partir de exoesqueleto (carapaças) de crustáceos.....	21
Figura 3.5 - Quitosana em pó Polymar.....	22
Figura 3.6 - Estrutura química do Tanfloc (Tanato Quaternário de Amonêo).....	24
Figura 3.7 - Acácia Negra.....	24
Figura 3.8 - Tanfloc	24
Figura 4.1 - Vista do ponto de captação de água da cidade de Maringá	29
Figura 4.2 - Estação de tratamento de água piloto.	32
Figura 4.3 - Estação de tratamento de água piloto	33
Figura 4.4 – Esquema da estação de tratamento de água piloto.....	34
Figura 4.5 - Cone imhoff	36
Figura 4.6 - Equipamento OxiTop OC 110.....	37
Figura 5.1 – Gráfico com as porcentagens de remoção de cor aparente na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.	50
Figura 5.2 – Gráfico com as porcentagens de remoção de turbidez na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.....	50
Figura 5.3 – Gráfico com as porcentagens de remoção de compostos de absorção UV na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.	51
Figura 5.5 – Gráfico com as porcentagens de remoção de cor aparente na ETA piloto com os diferentes coagulantes.....	64
Figura 5.6 – Gráfico com as porcentagens de remoção de turbidez na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.....	64
Figura 5.7 – Gráfico com as porcentagens de remoção de compostos de absorção UV na ETA piloto com os diferentes coagulantes.....	65
Figura 5.8 – Gráfico com as porcentagens médias de remoção de cor, turbidez, compostos de absorção UV e concentração de alumínio na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.	66
Figura 5.9 – Gráfico da biodegradabilidade do lodo formado pela coagulação da água de baixa turbidez utilizando os coagulantes <i>Moringa oleifera</i> , Quitosana, PCA e Sulfato de alumínio.....	68
Figura 5.10 – Gráfico da biodegradabilidade do lodo formado pela coagulação da água de alta cor e turbidez utilizando os coagulantes PCA, Quitosana, <i>Moringa</i> e Tanfloc.....	68

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 – Condições de funcionamento da ETA - piloto	34
Tabela 4.2 – Condições experimentais – água de baixa cor e turbidez.....	35
Tabela 4.3 – Condições experimentais – água de alta cor e turbidez.....	35
Tabela 5.1 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água bruta de baixa cor e turbidez.....	38
A tabela 5.2 apresenta as concentrações de metais presentes na água bruta de baixa cor turbidez.....	38
Tabela 5.2 – Concentração de Metais na Água Bruta de baixa cor e turbidez.....	39
Tabela 5.3 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com PCA.....	40
Tabela 5.4 – Concentração de metais na água tratada com PCA.....	40
Tabela 5.5 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana.....	41
Tabela 5.6 – Concentração de metais na água tratada com quitosana.....	42
Tabela 5.7 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Moringa	43
Tabela 5.8 – Concentração de metais na água tratada com moringa.....	43
Tabela 5.9 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc	44
Tabela 5.10 – Concentração de metais na água tratada com Tanfloc.....	45
Tabela 5.11 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana associada ao PCA.....	46
Tabela 5.12 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Quitosana e PCA	46
Tabela 5.13 - Características Físico-químicas e microbiológicas água da tratada com Moringa associada ao PCA.....	47
Tabela 5.14 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Moringa e PCA	48
Tabela 5.15 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc associado ao PCA.....	48
Tabela 5.16 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Tanfloc e PCA	49
Somente foi realizado ensaio com a água 3, pois anteriormente a essa data o coagulante natural Tanfloc não seria estudado, e na coleta do dia 04/02/2009 não houve água suficiente para a realização de todos os ensaios, isso justifica a ausência de ensaios nas demais águas.....	49
O Tanfloc foi eficiente no tratamento de água quando houve a associação com o PCA, apresentando altas remoções, ressaltado que a remoção de cor foi de 100% no final do processo de tratamento, e as remoções de turbidez e compostos de absorção UV foram de 98% e 86%, respectivamente.....	49
Tabela 5.17 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água bruta de alta cor e turbidez.....	53
Tabela 5.18 – Concentração de metais nas águas bruta de alta cor e turbidez.....	54
Tabela 5.19 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com PCA.....	54

Tabela 5.20 – Concentração de metais na água tratada com PCA	55
Tabela 5.21 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana.....	56
Tabela 5.22 – Concentração de metais na água tratada com quitosana.....	57
Tabela 5.23 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Moringa.	57
Tabela 5.24 – Concentração de metais na água tratada com Moringa	58
Tabela 5.25 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc.....	59
Tabela 5.26 – Concentração de metais na água tratada com Tanfloc.....	59
Tabela 5.27 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana associada ao PCA.	60
Tabela 5.28 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Quitosana e PCA	60
Tabela 5.29 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Moringa associada ao PCA.....	61
Tabela 5.30 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Moringa e PCA	62
Tabela 5.31 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc associado ao PCA.....	63
Tabela 5.32 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Tanfloc e PCA	63
Tabela 5.33 – Concentração de metais do lodo formado na ETA piloto.....	66
Tabela 5.34 – Quantidade de lodo formado na ETA piloto	67
Tabela 5.35 – Porcentagem de gases formado durante os ensaios de biodegradabilidade..	69

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A água doce é fundamental para a continuidade da vida e nota-se que da quantidade disponível parte está comprometida devido a superexploração, despreocupação com os mananciais, má distribuição, poluição, desmatamento e desperdício. Foi o preço pago pelo desenvolvimento.

Há séculos se estudam métodos para tratar a água para consumo humano e embora haja tecnologias avançadas, muito há que se possa melhorar, haja vista o crescente aumento da poluição dos mananciais, que tornam o tratamento dessa água mais complexo e dispendioso.

A necessidade de tratar a água nasceu com a descoberta de doenças transmitidas por via hídrica, o que torna a qualidade da água um fator de saúde pública, que por tanto deve ser livre de microorganismos, em especial os patogênicos, de produtos químicos tóxicos, além de possuírem características físico-químicas específicas como ser inodora, incolor, etc. Surge então a necessidade de uma legislação que garanta a potabilidade da água. Sendo a legislação em vigor no Brasil a Portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde.

Segundo, a Organização Mundial da Saúde - OMS, 70% dos leitos hospitalares, ocupados no mundo inteiro, abrigam pessoas portadoras de doenças de origem ou transmissão hídrica e suas conseqüências, provenientes da ausência de serviços adequados de abastecimento e coleta de águas (BORBA, 2001).

A água é um recurso natural renovável, fundamental para a manutenção da vida, e está presente na superfície para o consumo em rios, lagos, etc., no entanto essas águas mesmo não poluídas apresentam impurezas, como matéria orgânica, oriunda de plantas aquáticas e/ou vegetação marginal, e organismos aquáticos; substâncias inorgânicas provenientes do solo e sólidos em suspensão. Tais substâncias tornam as águas superficiais diferentes de acordo com as características físico-químicas e microbiológicas.

O tratamento convencional da água, que transforma a água *in natura* em água potável, consiste em depois de um tratamento preliminar, no qual são removidos os sólidos grosseiro - gradeamento, por exemplo; uma etapa de clarificação - coagulação, floculação, decantação; passando por uma etapa de filtração, seguida de uma desinfecção, correção de pH e fluoreação. A eficiência do processo de tratamento da água está ligada a etapa de coagulação, o que a torna a principal etapa de todo o processo (DI BERNARDO, 1993).

Vários agentes coagulantes químicos, como os sais de ferro e alumínio, são conhecidos e amplamente utilizados em todo mundo. O sulfato de alumínio é o coagulante mais usado no tratamento de água potável, pois o mesmo é fácil de transportar e de manejar, seu custo é baixo, e é produzido em várias regiões brasileiras, o sulfeto ferroso é muito útil para tratar águas que apresentam pH elevado e o cloreto férrico produz bons flocos em amplo intervalo de pH (SPINELLI, 2001).

De acordo com McLACHLAN (1995) estudos biológicos e epidemiológicos têm levado a evidências de que o uso de quantidades elevadas de alumínio no tratamento de água pode causar a doença de Alzheimer. Doença letal que se desenvolve devagar e progressivamente, afetando a memória e outras funções cognitivas, causando uma desordem cerebral, além de outros múltiplos sintomas e complicações.

O uso de coagulantes de origem natural é uma alternativa viável para a substituição dos coagulantes químicos, principalmente em relação à biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixa produção de lodo residual.

A quitosana é um polímero natural e não tóxico, cuja a maior vantagem sobre o sulfato de alumínio é que a mesma, por ser biodegradável, gera um lodo orgânico, fácil de tratar e que pode ser levado a um aterro sanitário comum (MCLACHLAN, 1995). Ainda pode-se citar que a quitosana é um produto natural, de baixo custo, renovável e biodegradável, de grande importância econômica e ambiental.

Outro coagulante natural que tem sido muito estudado como alternativa no tratamento de água é a *Moringa oleifera* que, de acordo com DAVINO (1976), possui uma proteína que provoca o mecanismo de coagulação/floculação na água de maneira semelhante ao mecanismo provocado pelos polieletrólitos, que são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou natural.

Segundo DIAS et al. (2005) o tanfloc é um polímero orgânico catiônico de baixa massa molar, à base de taninos naturais extraídos da casca da acácia negra. É utilizado por uma série de empresas e companhias de saneamento para o tratamento de efluentes e das águas de abastecimento. Suas vantagens mais significantes são o menor custo, uso de uma matéria prima renovável, menor contribuição de ânions sulfatos ao efluente final, menor geração de massa de lodo, e obtenção de um lodo orgânico (Não-Perigoso de acordo com a NBR 10.004) e com maior facilidade de eliminação.

Na realização deste trabalho foram feitos ensaios utilizando três coagulantes naturais (Quitosana, Moringa e Tanfloc) e um coagulante químico (Cloreto de Polialumínio) em uma estação de tratamento de água piloto (ETA-piloto), afim de avaliar sua eficiência no processo de produção de água potável.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo do presente trabalho é a aplicação de coagulantes naturais e químico em uma Estação de Tratamento de Água Piloto, para a obtenção de água potável, a partir da água superficial do Rio Pirapó, utilizando como coagulantes os polímeros naturais Quitosana, Moringa e Tanfloc e o coagulante químico PCA e a associação entre os coagulantes naturais e o PCA.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a eficiência dos coagulantes naturais no processo de coagulação/floculação;
- Analisar a eficiência dos coagulantes naturais como auxiliares de coagulação, juntamente com o PCA;
- Analisar, quantitativamente e qualitativamente, o lodo gerado no processo de tratamento de água com os coagulantes naturais, com o PCA e com a associação dos coagulantes naturais com o PCA quanto à presença de metais;
- Estudar a biodegradabilidade do lodo formado durante os ensaios na estação piloto

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água

A água é um recurso fundamental para a existência da vida. A superfície do planeta é coberta por 71% de água, sendo que deste total apenas uma pequena parcela é água doce, 0,3 %.

Desde que o homem concluiu que o cultivo de alimentos dependia da oferta de água, essa tem sido um bem de extrema importância para o homem. Após a revolução agrícola que ocorreu cerca de 5.000 anos antes de Cristo, as cidades que se desenvolveram no antigo Egito, o fizeram próximas a rios que atendessem a suas demandas domésticas e agrícolas. Posteriormente, a água corrente também passou a ser utilizada na movimentação de máquinas que cortavam madeira, em moinhos de grãos e finalmente em processos industriais (<http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/pdf>).

A maioria da população mundial ainda não tem acesso a água de qualidade. 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.

Em consequência da explosão demográfica e do acréscimo rápido das necessidades da agricultura e da indústria modernas, há uma necessidade crescente dos recursos hídricos. De acordo com as Nações Unidas, 31 países no mundo atualmente enfrentam escassez de água. Mais de um bilhão de pessoas não tem qualquer tipo de acesso a água potável e quase três bilhões não têm acesso a serviços de saneamento público. Até o ano 2025, o mundo terá 2,6 bilhões de pessoas a mais do que tem hoje, mas 2/3 dessas pessoas viverá em condições de séria escassez de água, e 1/3 com escassez absoluta de água. A carência de água excederá a disponibilidade em 56% (BARLOW & CLARKE, 2003).

O crescente aumento da população, atrelado ao descaso com a qualidade da água tem tornado os recursos hídricos cada vez mais poluídos, e embora a natureza tenha uma grande capacidade de depuração e devido a essa capacidade, a água, mesmo sendo contaminada, conseguiria se purificar, esta capacidade é limitada, por tanto cada vez mais a questão da qualidade da água ganha importância (EJEF, 2004).

Os recursos hídricos têm despertado o interesse dos mais diversos setores motivando-os a elaborarem modelos de uso e gestão capazes de compatibilizar as demandas crescentes com a relativa escassez do produto na qualidade desejada

Enquanto os padrões de potabilidade, que visam quase que exclusivamente os aspectos relacionados com a saúde humana, com pouca relação com o meio ambiente, os padrões de qualidade ambiental levam em conta, essencialmente, alterações do teor de oxigênio, de matéria

orgânica, de nutrientes, do pH e da temperatura do curso d'água, isto é, possuem um enfoque ambiental. Os parâmetros citados não acarretam, na maior parte das vezes, prejuízos diretos ao homem, pois as doenças infecciosas, provenientes da poluição hídrica, são, normalmente, o resultado de uma ação mais direta de contágio de uma pessoa para outra (SOARES et al., 2002).

Segundo DI BERNARDO *et al* (1999b) do ponto de vista tecnológico, águas de qualquer qualidade podem ser transformadas em água potável, entretanto, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo d'água como fonte de abastecimento. Em função da qualidade da água de um determinado manancial e suas relações com o meio ambiente, há tecnologias específicas para que o tratamento seja eficientemente realizado.

A água *in natura* nunca é pura, ela contém solutos inorgânicos (ex.: cálcio, magnésio), solutos orgânicos (ex: ácidos húmicos) e também alguns gases dissolvidos (ex.: CO₂, O₂). Após o último contato com o solo, seja por percorrer a superfície terrestre ou penetrar pelas camadas rochosas, as impurezas contidas na água são incrementadas devido ao grande poder de dissolução que ela possui. Daí a necessidade de se tratar essa água antes de usá-la (DI BERNARDO, 1993).

Tais impurezas conferem a água características químicas, físicas e biológicas, das quais a qualidade da água é dependente. Essas características da água *in natura* determinarão o grau do tratamento que deverá ser utilizado a fim de transformá-la em água potável. Quanto mais impuro estiver o manancial de abastecimento, mais dispendioso será o processo de tratamento, maior será a utilização de produtos para purificar essa água. A água destinada ao consumo humano deve obedecer padrões de potabilidade previstos na Portaria nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde (MS).

Como todo processo industrial, a produção de água potável gera resíduos (lodo) que também varia de acordo com o grau de pureza da água, tanto em quantidade, quanto em qualidade.

3.2 INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com MOTTA (1997) a caracterização de uma água deve levar em consideração os parâmetros que são indicadores de qualidade, tais como as características físicas, químicas e biológicas.

3.2.1 – Características Físicas da Água

Para determinação da tecnologia adequada para o tratamento da água é importante o conhecimento das características físicas da água, essas não são relevantes em relação às condições sanitárias (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Alguns parâmetros físicos de qualidade são: cor, turbidez, sólidos e temperatura.

Cor

A presença de substâncias dissolvidas ou em suspensão, dependendo da quantidade e da natureza do material presente, e a matéria orgânica, proveniente de vegetais ou animais em decomposição, quase sempre resulta em cor nas águas. Pode ser causada também por minerais naturais como o ferro e manganês (FUNASA, 2004).

Segundo DI BERNARDO e DANTAS (2005), a cor verdadeira é aquela que não sofre interferência de partículas suspensas na água, sendo obtida após a filtração da mesma, enquanto a cor aparente é aquela medida sem a remoção das partículas suspensas.

Turbidez

A turbidez refere-se à matéria suspensa presente na água, de qualquer natureza, com tamanho variando desde suspensões grosseiras aos colóides, que reduzem a sua transparência. É causada principalmente por areia, argila e algas, plâncton, matéria orgânica e muitas outras substâncias como o zinco, ferro e manganês (FUNASA, 2004).

Água com turbidez elevada e dependendo de sua natureza, forma flocos pesados que decantam mais rapidamente do que água com baixa turbidez. Por isso é importante no processo de tratamento da água (FUNASA, 2004). A turbidez não traria inconvenientes sanitários, não fosse pela natureza química de certos compostos em suspensão que podem estar presentes, bem como a ocorrência de organismos patogênicos associados a esses compostos (VIANNA, 1992).

Sólidos

Os sólidos correspondem a toda matéria que aparece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-fixada, durante determinado tempo (MORAES, 2004).

Quantidades em excesso de substâncias dissolvidas na água podem torná-la imprópria ao consumo humano (CARDOSO, 2007).

Temperatura

A temperatura é importante, pois interfere na velocidade das reações químicas, na solubilidade dos gases e pode acentuar a sensação de sabor e odor. Interfere ainda na eficiência da desinfecção e no desempenho das unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

As características organolépticas são influenciadas pela temperatura, assim como a desinfecção, a coagulação, a flotação, a baixa temperatura reduz a eficiência da tecnologia de

filtração em múltiplas etapas, enquanto que a alta temperatura favorece a precipitação de sais de cálcio (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

3.2.2 – Características Químicas da Água

As características químicas da água estão relacionadas a presença de substâncias dissolvidas. Alguns elementos ou compostos químicos na água bruta podem inviabilizar o uso de algumas tecnologias de tratamento (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Portanto, as características químicas da água são extremamente importantes. Pode-se citar como parâmetros químicos de qualidade: pH alcalinidade e acidez, dureza, formas de nitrogênio e compostos orgânicos.

pH

Expressa a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução (CARDOSO, 2007). Valores baixos de pH tendem a ser corrosivos, enquanto valores altos tendem a formar incrustações (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). O pH tem uma influencia direta e indireta na vida aquática, sendo recomendado a faixa de 6,0 a 9,0.

Alcalinidade e Acidez

Alcalinidade da água é a medida da sua capacidade de neutralizar ácidos ou absorver íons hidrogênio sem mudança significativa do pH, enquanto a acidez é a capacidade da água em neutralizar bases (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A alcalinidade influi consideravelmente na coagulação química, uma vez que os principais coagulantes primários, comumente utilizados no Brasil (sulfato de alumínio e cloreto férrico), são doadores de prótons em solução. Se a alcalinidade for baixa, a coagulação pode exigir a adição de alcalinizante para o ajuste do pH, mas se a alcalinidade e o pH forem altos, provavelmente haverá problemas nesse tipo de coagulação (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A acidez está relacionada com o condicionamento final da água em uma estação de tratamento, pois pode ser necessário estabilizar o carbonato de cálcio por meio da adição de um alcalinizante, a fim de evitar problemas de corrosão no sistema de abastecimento (RITCHER e NETTO, 2003). No Brasil, a maioria das águas são ácidas.

Dureza

A dureza de uma água é a soma das concentrações de todos os cátions polivalentes, com exceção do sódio e do potássio. Na maioria das vezes, a dureza da água é decorrente do cálcio associado ao bicarbonato, o qual se transforma em carbonato (pouco solúvel) por aquecimento ou elevação do pH o que denominamos de dureza aparente (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Os bicarbonatos de cálcio e de magnésio também são responsáveis pela alcalinidade, causam a dureza temporária removida por simples ebulição da água. Os sulfatos e outros compostos menos importantes conferem a água à dureza permanente, não sendo removida pelo aquecimento, que provoca as incrustações nas caldeiras.

Segundo AZEVEDO *et al.* (1987) a dureza pode ser considerada como uma característica conferida à água pela presença de sais alcalino-terrosos, como o cálcio e o magnésio. É a soma de cátions polivalentes presentes na água e é expressa em termos de CaCO_3 (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Metais, não-metais e metalóides

Ferro

Nas águas superficiais, o nível de ferro aumenta nas estações chuvosas devido ao carregamento de solos e à ocorrência de processos de erosão das margens. Também poderá ser importante a contribuição devida a efluentes industriais.

O uso de água contendo ferro oxidado gera inconvenientes tais como: proliferação de microorganismos denominados ferrobactérias, alteração das características organolépticas, formação de manchas nas instalações (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Nas águas tratadas para abastecimento público, o emprego de coagulantes à base de ferro provoca elevação em seu teor.

Manganês

O manganês surge na água naturalmente pela dissolução de minerais.

A remoção de manganês depende do pH, produzindo um precipitado, geralmente na forma de MnO_2 e removido por sedimentação, flotação ou filtração. A água contendo manganês oxidado apresenta os mesmos inconvenientes do ferro (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Zinco

A presença de zinco é comum nas águas naturais. O zinco é um elemento essencial para o crescimento, porém, em concentrações acima de 5,0 mg/L, confere sabor à água e uma certa opalescência à águas alcalinas (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

É preciso ressaltar que o zinco é um elemento essencial e benéfico para o metabolismo humano, sendo que a atividade da insulina e diversos compostos enzimáticos dependem da sua presença. A deficiência do zinco nos animais pode conduzir ao atraso no crescimento (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Alumínio

O alumínio pode estar presente nos corpos de água como consequência da lixiviação de rochas ou como resultado de atividades industriais (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Nas águas de abastecimento e residuárias aparece como resultado do processo de coagulação em que se emprega sulfato de alumínio. Pequenas quantidades de alumínio do total ingerido são absorvidas pelo aparelho digestivo e quase todo o excesso é evacuado nas fezes. O total de alumínio presente no organismo adulto é da ordem de 50 a 150 mg. Estudos têm relacionado o alumínio ao mal de Alzheimer (MORAES, 2009).

Cobre

O cobre ocorre geralmente nas águas, naturalmente, em concentrações inferiores a 20 µg/L. Quando em concentrações elevadas, é prejudicial à saúde e confere sabor às águas.

O cobre em pequenas quantidades é benéfico ao organismo humano, catalisando a assimilação do ferro e seu aproveitamento na síntese da hemoglobina do sangue, facilitando a cura de anemias (MORAES, 2009).

Metais Pesados

Metais pesados são elementos químicos que apresentam número atômico superior a 22. Também podem ser definidos por sua singular propriedade de serem precipitados por sulfetos. Entretanto, a definição mais difundida é aquela relacionada com a saúde pública: metais pesados são aqueles que apresentam efeitos adversos à saúde humana. Os metais pesados surgem nas águas naturais devido aos lançamentos de efluentes industriais (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Os metais pesados constituem contaminantes químicos nas águas, pois em pequenas concentrações trazem efeitos adversos à saúde. Desta forma, podem inviabilizar os sistemas públicos de água, uma vez que as estações de tratamento convencionais não os removem eficientemente e os tratamentos especiais necessários são muito caros (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

3.2.3 – Características Microbiológicas da Água

Os microorganismos presentes na água também são considerados impurezas e podem provocar inúmeras doenças que tem como forma de contágio a veiculação hídrica.

Coliformes são considerados indicadores de poluição recente fecal (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Os coliformes totais constituem um grupo de bactérias encontradas na água, solo e fezes, enquanto os coliformes fecais integram um grupo de bactérias originárias do trato intestinal, sendo a *Escherichia coli* uma das principais representantes (MOTA, 1997).

A qualidade bacteriológica da água pode ser avaliada por meio do NMP – número mais provável ou UFC – unidades formadoras de colônias de coliformes totais ou de *Escherichia coli*.

3.3 – Tratamento

O projeto de estações de tratamento de água, para ser adequado as características da água bruta, deve se basear em dados obtidos a partir de estudos de laboratório. Tem sido observado em alguns países em desenvolvimento que não existe relação entre a qualidade da água bruta e a tecnologia de tratamento adotada, resultando no comprometimento da operação da ETA, tanto do ponto de vista do consumo exagerado de produtos químicos, quanto da qualidade da água produzida, especialmente quando a coagulação química é empregada (DI BERNARDO et al., 1999b).

As tecnologias de tratamento de água podem ser enquadradas em dois grupos, sem coagulação química e com coagulação química. Dependendo da qualidade da água bruta, ambos os grupos podem ou não ser precedidos de pré-tratamento (DI BERNARDO et al., 1999b).

3.3.1 - Pré tratamento

O pré-tratamento é constituído por processos físicos que visam a remoção de areia, gordura e sólidos grosseiros. Ex: gradeamento, peneiramento, caixa de gordura, caixa de areia.

A água bruta proveniente de corpos d'água superficiais geralmente contém material flutuante (pequenos galhos e folhas de árvores, grama), areia fina, silte, argila, e, algumas vezes, matéria orgânica natural e algas. Organismos, tais como protozoários, bactérias e vírus também podem estar presentes e representar riscos à saúde pública, razão pela qual sua inativação deve ser prioridade em qualquer sistema de tratamento (DI BERNARDO, 1999b).

3.3.2 - Coagulação/Floculação

Durante o tratamento de água a coagulação e floculação tem como finalidade transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, estado coloidal ou solução, bactérias e protozoários ou plâncton, em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas por sedimentação e/ou filtração ou, em alguns casos, por flotação (MORAES, 2009).

A coagulação da água é o processo de tratamento de água que tem como objetivo fundamental a formação de partículas desequilibradas eletricamente (coágulos). Geralmente são partículas resultantes da ionização do coagulante dissolvido na água. Enquanto a floculação é caracterizada pela aglutinação das partículas resultantes dessa coagulação, com o material finamente dividido (impurezas), disperso no seio da água, que lhe confere cor e turbidez. Na prática, esses fenômenos ocorrem quase que simultaneamente. Por esse fato, não se usa tratá-los separadamente. (MORAES, 2009).

A ocorrência dos fenômenos coagulação/floculação química associados a decantação ou sedimentação propiciam a clarificação, que é definida como o processo de remoção de cor e turbidez de águas naturais (BORBA, 2001).

De acordo com BORBA (2001), quando a coagulação/floculação é realizada por polieletrólitos, o processo pode acontecer sem a ocorrência do fenômeno químico, não havendo reações de neutralização entre o coagulante e a água para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes derivados de sais de alumínio e ferro. Esse acontecimento é devido ao fato deles já serem constituídos de complexos dotados de grandes cadeias moleculares, que apresentam pontos (sítios) com cargas positivas ou negativas, que têm grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor. Por esse motivo, a coagulação/floculação com polieletrólitos, praticamente, independe da alcalinidade da água, podendo ocorrer numa grande faixa de valores de pH entre 4 e 12.

De acordo com DAVINO (1976), grande parte das partículas coloidais e moléculas das substâncias húmicas presentes na água possuem cargas elétricas superficiais carregadas negativamente, devido aos seguintes processos:

- a) Defeito na rede de cristais da matéria, pois a maioria das águas naturais superficiais apresenta muitos tipos de argilas, que são basicamente constituídas de silicatos de alumínio. Assim, ocorre a substituição dos átomos de alumínio por silício na rede do cristal, o que gera um excesso de cargas negativas na superfície desses agregados;
- b) Ionização da superfície das partículas em suspensão na água, porque a matéria silicosa presente nessa suspensão pode sofrer hidratação para formar grupos silanol que, conseqüentemente também se ionizam, conferindo cargas negativas à matéria suspensa;
- c) A matéria orgânica originária das substâncias húmicas em suspensão nas águas superficiais apresenta uma grande variedade de compostos contendo os grupos fenólicos, carboxílicos e aminas, parcialmente ionizados. Isso também confere cargas negativas à matéria em suspensão na água.

Devido a ocorrência destes três fenômenos, os colóides dispersos na água se apresentam com cargas elétricas superficiais negativas, mesmo depois de um balanço com os íons de carga contrária presentes. De um modo geral, todas as partículas dispersas em águas, cujo pH se encontra entre 4 e 10, apresentam cargas negativas devido a adsorção seletiva de íons eletronegativos. Como na prática geralmente as águas a serem tratadas estão dentro dessa faixa de valores de pH, os estudos de coagulação/floculação se desenvolveram baseados nessas idéias de partículas coloidais e/ou moléculas orgânicas (macro-moléculas) negativas (CAMPOS E POVINELLI, 1976).

Segundo CARDOSO (2007) nas estações de tratamento de água – ETAs, o fenômeno da coagulação/floculação começa a ocorrer de maneira simultânea na mistura rápida, e se consolida durante a mistura lenta (floculação). O fenômeno coagulação/floculação, juntamente com a decantação ou sedimentação propicia a clarificação da água, definida como o processo de remoção de cor e turbidez.

Mecanismos de Coagulação

A coagulação é resultado da ação individual ou combinada de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura e adsorção e formação de pontes (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Compressão da Camada Difusa

Quando se introduzem sais simples em um sistema coloidal ocorre o aumento da densidade de cargas na camada difusa e a diminuição da esfera de influência das partículas, ocasionando o que se chama de coagulação por compressão da camada difusa. O aumento de íons positivos e negativos na água acarreta o acréscimo do número de íons na camada difusa que, para manter-se eletricamente neutra, tem seu volume reduzido, de modo que as forças de Van Der Waals sejam dominantes, eliminando a estabilização eletrostática (DI BERNARDO, 1993).

SPINELLI (2001a) afirma que os principais aspectos relacionados a esse mecanismo de coagulação são: a quantidade necessária de eletrólitos para conseguir a coagulação é independente da concentração de colóide na água e; que não é possível causar a reversão de carga dos colóides.

Adsorção e Neutralização de Cargas

A desestabilização de uma dispersão coloidal consiste nas interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente. O mecanismo de adsorção-neutralização de carga é muito importante quando o tratamento é realizado por meio da filtração direta, pois não há necessidade da produção de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizadas que serão retidas no meio filtrante (DI BERNARDO, 1993).

Varredura

Dependendo da quantidade adicionada de coagulante, do pH da mistura e da concentração de alguns tipos de íons na água, poderá ocorrer a formação de precipitados do tipo $Al(OH)_3$ ou $Fe(OH)_3$. As partículas coloidais são envolvidas pelos precipitados e, como este mecanismo não depende da neutralização da carga dos colóides, a condição ótima da coagulação pode não corresponder aquela em que é mínimo o Potencial Zeta (MORAES, 2009).

O mecanismo da varredura é intensivamente utilizado nas estações de tratamento em que se tem a floculação e sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação relativamente altas se comparados com os flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização (DI BERNARDO, 1993).

Adsorção e Formação de Pontes

Este mecanismo envolve o uso de polímeros de grandes cadeias moleculares, os quais servem de ponte entre a superfície a qual estão aderidos e outras partículas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Para MENDES (1989) o comportamento dos polímeros como coagulantes pode ser explicado baseando-se na sua adsorção a superfície das partículas coloidais, seguida pela redução da carga ou pelo entrelaçamento das partículas na cadeia do polímero.

Os polímeros podem ser caracterizados como catiônicos, apresentam sítios ionizáveis positivos, aniônicos, apresentam sítios ionizáveis negativos, não iônicos, não apresentam sítios ionizáveis e anfótericos, apresentam sítios ionizáveis negativos e positivos (DI BERNARDO, 1993).

Na teoria química, supõe-se que os colóides adquirem cargas elétricas superficiais pela ionização de grupos químicos, e a instabilidade em coagulação é conseguida por interações químicas entre partículas coloidais e os coagulantes. O potencial neste plano de cisalhamento é chamado potencial Zeta e é responsável pelo comportamento eletrostático da partícula coloidal. É a diferença de potencial entre a partícula com a sua camada adsorvida na superfície e a solução (SILVA, 1999).

O potencial Zeta é conhecido como uma lei fundamental da natureza, e a sua finalidade é controlar a estabilidade dos colóides existentes na natureza. A estabilidade do colóide é o resultado da adsorção de íons e o potencial Zeta é a medida dessa adsorção (SILVA, 1999).

A coagulação ocorre à medida que o potencial Zeta é reduzido. Ele deve diminuir a valores que permitam a posterior aglomeração das partículas, possibilitando a formação de flocos (KIMURA, 2001).

Coagulantes

Com o desenvolvimento da humanidade, o homem descobriu que determinados produtos químicos quando adicionados à água se ionizavam, reagiam com a matéria dispersa e formavam coágulos que se precipitavam, deixando a água límpida (BORBA, 2001).

A clarificação de uma água pode ser definida como sendo a remoção da matéria finamente dividida (impurezas) que se encontra nela dispersa, lhe conferindo características de água bruta, como a cor aparente ou verdadeira e a turbidez que impede a passagem da luz através dela, tornando-a opaca e não translúcida (BORBA, 2001).

Coagulantes Químicos

Os coagulantes convencionais geralmente formam compostos gelatinosos, dotados de cargas positivas (coagulantes catiônicos), devido a grande eletropositividade dos elementos químicos que os compõem, quando são dissolvidos na água. O mecanismo de formação dos flocos ocorre através da

neutralização entre a acidez do coagulante e a alcalinidade natural ou adicionada a água, por atração eletrostática as cargas positivas resultantes da ionização do coagulante e as cargas negativas das partículas (impurezas) dispersas na água formam os flocos, os quais são maiores, mais pesados, dotadas de ligações iônicas, e têm tendência a precipitarem quando há diminuição da velocidade do fluxo de água (BORBA, 2001).

O sulfato férrico tem sido usado com sucesso em algumas estações. Ele reage prontamente com a alcalinidade natural da água, sendo o floco formado mais denso que o de sulfato de alumínio e precipitando numa larga faixa de pH. É útil na remoção de ferro e sulfeto de hidrogênio das águas de poços. Sua desvantagem é que sua solubilidade só é apreciável em água quente (MORAES, 2009).

A coagulação/floculação, quando realizada com sais de alumínio e ferro, é resultado de dois fenômenos: o primeiro, que é essencialmente químico, que consiste nas reações do coagulante com a água, formando espécies hidrolisadas com carga positiva, esse fenômeno depende da concentração do metal presente, da temperatura, da quantidade de impurezas e do pH final da mistura. O segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte dessas espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água (DI BERNARDO, 1993).

Segundo Borba 2001, nos últimos anos, tem sido desenvolvido diversos compostos poliméricos de ferro e alumínio, que constituem um novo tipo de coagulante amplamente usado nos países do primeiro mundo, conhecidos como polímeros inorgânicos aplicados com muita eficiência no tratamento de águas de qualidades diversas.

A preparação de coagulantes inorgânicos polimerizados é extremamente complexa e envolve sais de alumínio e ferro, em condições especiais, resultando em agregados complexos, como o PAC (Poly Aluminum Chloride), conhecido no Brasil como policloreto de alumínio, que é um polímero inorgânico de hidrato do alumínio clorado, cuja fórmula genérica é $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$ (ANTUNES, 1998). Atualmente, encontram-se disponíveis no mercado vários tipos de polímeros de alumínio e ferro e a eficiência de cada um depende basicamente da relação entre os íons de ferro e alumínio, no seu agregado iônico.

Sulfato de Alumínio

O sulfato de alumínio é amplamente utilizado em todo mundo no tratamento de água potável, por ser fácil de transportar, seu custo é baixo e especificamente no Brasil é produzido em várias regiões (SPINELLI, 2001). Porém, tem aplicação restrita a pH entre 5,5 e 8,0. Quando o pH da água não se encontra nessa faixa, costuma-se adicionar cal ou aluminato de sódio (DEC/UFMG, 2006).

Segundo KAWAMURA (1991) o efeito do sulfato de alumínio como coagulante é fortemente dependente do pH, e no final do tratamento pode ficar presente uma alta concentração de alumínio residual na água, em consequência do pH de floculação utilizado. Se o mesmo estiver presente na água em uma concentração acima de 0,2 mg/L pode trazer sérios riscos à saúde humana como úlcera e necrose da mucosa, garganta e esôfago. O efeito sistemático inclui náuseas, vômito, diarreia, dor

epigástrica, ânsia, gastroenterite hemorrágica e colapso circulatório (desmaio) (CLAYTON et al., 1989). Além disso, o alumínio não é biodegradável podendo causar sérios problemas de disposição e tratamento do lodo gerado (MORAES, 2009).

O sulfato de alumínio, dependendo da dosagem, é tóxico e pode provocar além do Alzheimer, o mal de Parkinson e a Síndrome de Down, devido à deficiência renal em filtrar os metais do sangue que é levado ao cérebro (SILVA, 1999).

De acordo com McLACHLAN (1995) vários estudos biológicos e epidemiológicos têm levado à evidência de que o uso de quantidades elevadas de alumínio no tratamento de água pode causar a doença de Alzheimer. Esta doença letal se desenvolve devagar e progressivamente, afetando a memória e outras funções cognitivas, causando uma desordem cerebral, além de outros múltiplos sintomas e complicações. Não existe nenhum tratamento ou prevenção à doença. O alumínio não é o causador principal do mal de Alzheimer, mas é responsável por várias transformações moleculares que causam o progresso da doença (MCLACHLAN, 1995).

Hidroxicloreto de Alumínio ou Policloreto de Alumínio (PAC)

O policloreto de alumínio é um coagulante catiônico, que devido a suas dimensões e estrutura polimérica substitui com vantagem os coagulantes inorgânicos. Sua molécula constitui-se de um polímero inorgânico, com propriedades muito boas de coagulante/floculante para uso em estações de tratamento. Essas propriedades resultam da formação de um complexo polinuclear de íons hidroxialumínio, que em solução aquosa adquirem características catiônicas. O policloreto de alumínio atua em uma ampla faixa de pH (faixa ótima entre 6,0 - 9,0) e sua ação depende da temperatura (REIS, 1999).

O hidroxicloreto de alumínio, na maioria dos casos, revela-se como coagulante superior ao sulfato de alumínio. Para a eliminação de substâncias coloidais, sua eficácia, em média, é 2,5 vezes superior em igualdade de dosagem ao íon Al^{3+} a dos outros sais de alumínio habitualmente utilizados (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA et al., 2005).

O hidroxicloreto de alumínio é um sal de alumínio pré-polimerizado, de fórmula bruta $Al_n(OH)_nCl_{3n-m}$. Em função da basicidade, o hidroxicloreto de alumínio, durante a hidrólise, libera, em igualdade de dosagem de íons metálicos uma quantidade de ácido consideravelmente menor do cloreto de alumínio e dos coagulantes tradicionais como sulfato de alumínio e cloreto férrico. Isso provoca uma menor variação do pH do meio tratado ou um menor consumo de neutralizante para reconduzir o pH ao seu valor original (SCHOENHALS, 2006).

Devido ao seu estado pré-polimerizado e à característica de sua estrutura molecular condensada com pontes de oxigênio entre os átomos de alumínio, o hidroxicloreto de alumínio apresenta vantagens na floculação em relação aos demais coagulantes inorgânicos não pré-polimerizados, principalmente pela maior concentração do elemento ativo (Al_2O_3). O hidroxicloreto de

alumínio, polímero mineral de peso molecular elevado, é produzido em alguns países e é conhecido como PAC (*Poly Aluminium Chloride*) (SCHOENHALS, 2006).

Coagulantes Naturais

A introdução de novos produtos no tratamento de água, sintético ou natural, exige grande responsabilidade por parte das autoridades sanitárias, pois por melhor que seja o controle das operações e dos processos envolvidos, o certo é que geralmente a água tratada contém resíduos que serão ingeridos pelos consumidores. Desta maneira, o emprego de polímeros naturais deve ser investigado e estimulado de forma que os produtos potencialmente perigosos possam ser substituídos com vantagens, levando em conta principalmente o aspecto da saúde pública. Além disso, como os polímeros naturais na maioria dos casos são obtidos facilmente sem a utilização de processos químicos complexos, seu emprego pode resultar mais atrativo que o de polímeros sintéticos, considerando, também, o aspecto econômico (DI BERNARDO, 2000).

É desejável que coagulantes alternativos, ambientalmente mais aceitáveis e com custo mais acessível, sejam utilizados para complementar - ainda que não substituir - os sais de alumínio, ferro e polímeros sintéticos. Neste contexto, os coagulantes vegetais representam uma alternativa viável (KAWAMURA, 1991) que tem surgido para o tratamento de água em países em desenvolvimento (JAHN, 1988 citado por RAMOS, 2005).

Os coagulantes de origem orgânico-naturais conhecidos universalmente como polieletrólitos; são representados por compostos constituídos de grandes cadeias moleculares, dotados de sítios com cargas positivas ou negativas (BORBA, 2001). Porém, apenas os polieletrólitos catiônicos, ou seja, que apresentam cargas positivas; podem ser utilizados sem a aplicação do coagulante primário (SPINELLI, 2001).

Existem atualmente trabalhos com o uso de coagulantes e/ou auxiliares de coagulação de origem orgânica, constituídos a base de polissacarídeos, proteínas e principalmente, os amidos, entre os quais têm se destacado: farinha de mandioca, araruta e fécula de batata (DI BERNARDO, 1993). Tem-se verificado também o uso de algumas plantas, tais como: o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), usado na forma de um fluido viscoso extraído da vagem (baba de quiabo) ou na forma de chá feito a partir do pó seco da vagem pulverizada; a mutamba (*Guazuma ulmifolia*) ou chico magro, no Mato Grosso, usado também na forma de chá da casca e do caule e o cacau (*Theobroma cacao*), usado na forma do pó da casca (ABREU e LIMA, 1998).

Há também registros do uso de argilas não ferrosas, formados de grandes agregados iônicos (moléculas complexas), como bentonita sódica e outras argilas alcalinas, como auxiliar de coagulação/floculação (BORBA, 2001). O mecanismo de coagulação desses compostos orgânicos e inorgânicos é semelhante ao mecanismo de coagulação/floculação dos polieletrólitos, já que todos eles são polímeros naturais constituídos de grandes cadeias carbônicas ou silicônicas, dotados de

sítios com pontos positivos ou negativos, podendo na presença da água, transformarem-se em coagulantes catiônicos ou aniônicos, dependendo do saldo das cargas elétricas, se positivo ou negativo (DAVINO, 1996).

Os polímeros sintéticos, assim como os naturais (amidos em geral), têm sido usados como auxiliar de coagulação/floculação, com o objetivo de aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos, a resistência dos flocos contra as forças de cisalhamento que podem ocorrer com a veiculação da água após a floculação e propiciar a diminuição da dosagem do coagulante primário (BORBA, 2001).

Por outro lado, a presença de um polieletrólito orgânico, natural ou sintético na água, pode aumentar seu teor de matéria orgânica ou inorgânica e causar problemas como o aparecimento de sabores desagradáveis e substâncias mal cheirosas, caso essa matéria orgânica não seja eliminada durante as fases da coagulação/floculação, sedimentação e desinfecção com cloro gasoso ou produto similar (BORBA, 2001).

Os grandes sistemas de tratamento de água do Brasil e do mundo, principalmente em regiões super-povoadas, que precisam de grandes vazões geralmente necessitam explorar ao máximo o potencial de suas estações de tratamento de água, e por isso sempre usam polieletrólitos naturais ou sintéticos associados a algum tipo de coagulante primário, para se beneficiarem das vantagens citadas anteriormente (BORBA, 2001).

Alguns biopolímeros vêm sendo investigados mais intensamente que outros, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam, da quitosana e do tanino. Em geral, os estudos são aplicados ao tratamento de águas para fins potáveis.

Moringa oleifera

As plantas da família das Moringaceae apresentaram grande capacidade de clarificar águas brutas (GERDES, 1997). No Malawi, localizado na África Oriental, experiências estão sendo realizadas no que diz respeito ao tratamento de água no meio urbano com sementes de *Moringa oleifera* Lam (NETO, 2005).

Moringa oleifera é uma espécie perene, da família Moringaceae, originária do noroeste indiano, amplamente distribuída na Índia, Egito, Filipinas, Ceilão, Tailândia, Malásia, Burma, Paquistão, Singapura, Jamaica e Nigéria (BEZERRA et al., 2004) e cultivada devido ao seu valor alimentar (folhas, frutos verdes, flores e sementes torradas); forrageiro (folhas, frutos e sementes); medicinal (todas as partes da planta); melífero (flores); combustível (madeira e óleo); condimentar (principalmente as raízes), culinário e na indústria de cosméticos. De acordo com NJOKU (1997), o óleo extraído das sementes é rico em b-caroteno e lecitina.

Como é rica em vitamina A há um esforço no Brasil afim de difundir-la como hortaliça (BEZERRA et al, 2004), já que a quantidade desta vitamina encontrada nas folhas da *M. oleifera* é superior à quantidade encontrada em olerícolas consagradas como brócolis, cenoura, couve,

espinafre e alface (BEZERRA et al., 2004). A *M. oleifera* é uma planta que se propaga por sementes e estacas. De acordo com BEZERRA et al. (2004), entre outros pesquisadores, o tegumento e cotilédones de suas sementes podem ser utilizados no tratamento de água para consumo humano e nas zonas rurais do nordeste brasileiro as sementes de *M. oleifera* têm sido utilizadas no tratamento d'água para o consumo humano freqüentemente (BEZERRA et al., 2004), dada a escassez de água potável para a população rural nessa região.

A *Moringa oleifera* é a espécie mais conhecida da família das *Moringaceae*, apesar de ser uma planta originária da Índia, se espalhou por todo mundo, principalmente nos países tropicais, como o Brasil. Na região do Nordeste brasileiro a *Moringa oleifera* é conhecida como “Lírio Branco”. Outro nome popular dessa planta no Brasil é Quiabo de Quina (CORRÊA, 1984).

Essa espécie tem o crescimento rápido e pode frutificar no seu primeiro ano de vida. A sua propagação pode ser feita através de sementes, mudas ou estacas (GERDES, 1997).

De acordo com DAVINO (1976) o mecanismo da coagulação/floculação de uma água, provocado pela proteína existente na polpa da *Moringa oleifera*, se assemelha ao mecanismo da coagulação/floculação provocado pelos polieletrólitos, que são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de origem sintética ou natural.

Nas Figuras 3.1 e 3.2 encontram-se fotos ilustrativas da planta e da vagem, sementes com e sem casca da *Moringa oleifera*, respectivamente.



Figura 3.1: *Moringa oleifera*

Fonte: <http://www.sementescaicara.com.br/Sementes/Morin/moringa.html>



Figura 3.2: Vagens e sementes com e sem casca de *Moringa oleifera*

Quitosana

Segundo TODOROVIC (2002) a quitosana foi descoberta em 1859 pelo professor C. Rouget, colocando em ebulição uma solução de hidróxido de potássio com quitina. O nome quitosana foi proposto em 1894 por Hoppe-Seyler pelo fato dessa substância possuir a mesma quantidade de nitrogênio que a quitina original.

No Japão, em 1971, a quitosana foi produzida industrialmente pela primeira vez; já em 1986 quinze indústrias produziam quitina e quitosana, em escala comercial. Atualmente muitas pesquisas sobre esses polissacarídeos têm sido realizadas e suas aplicações são consideradas de elevado potencial. Os biopolímeros apresentam certas vantagens em relação aos materiais usados atualmente, tais como: baixo custo, quantidades abundantes na natureza e biodegradabilidade (MONTEIRO, 2000).

Dentre suas inúmeras aplicações podem ser citadas aquelas relacionadas às propriedades de adsorção e complexação para a remoção de proteínas, corantes e íons metálicos de efluentes industriais (YOSHIDA, 1994). Na indústria de cosméticos, a quitosana é amplamente utilizada como umectante; agente condicionador e fixador de cabelos, encapsulador de essências, princípios ativos e pigmentos (BROTERO, 1991). Na indústria têxtil, a quitosana é utilizada no revestimento de fibras sintéticas, aumenta a absorvidade destas pelos corantes e na indústria de alimentos, é utilizada como agente de clarificação e controlador de viscosidade (MEHTA, 1997).

A quitosana e a quitina tornaram-se objeto de investigação científica com aplicações nas mais diversas áreas, inclusive na área biomédica. Quitosanas condensadas a piridocarbaldeído e hidroxiquinoleína apresentam capacidade adsorvente de íons Cu (II), Cd (II), Ni (II) e Pb (II). Estão sendo usadas blendas poliméricas fotossensíveis à base de Quitosana/PVA, além da utilização desses polímeros como suporte cromatográfico (KLUG, 1998).

Algumas propriedades biológicas como atividades microbianas e cicatrizantes têm sido atribuídas aos fragmentos resultantes da degradação enzimática da quitosana. Os oligômeros de N-

Acetil-D-Glicosamina são utilizados como substrato no desenvolvimento de lentes de contato (www.polymer.com.br/quitosana).

Muita atenção tem sido focada na quitosana como um polímero funcional, por ter várias propriedades, tais como não toxicidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, atividade antimicrobiana e reatividade química. Assim a quitosana tem sido investigada em vários campos, tais como medicina, bioengenharia, alimentos, cosméticos, agricultura e na indústria têxtil, floculantes em efluentes, aditivo para indústria de papel, como um ativo agente em desodorização e minimização de odores (WELTROWSKI, 1996). Trabalhos também têm sido feitos em termos de emprego em processos de biotecnologia em fermentação e como componentes menos pesados em construção (HEPPE, 2002).

De acordo com HUANG e CHEN (1996) a quitosana atua como polieletrólito catiônico na coagulação da matéria orgânica coloidal de água potável, ou como coagulante/floculante em sistemas aquosos (KLOPOTEK et al., 1994). A presença de grupos amino nas cadeias poliméricas, permite que a quitosana atue como polieletrólito catiônico em pH inferior a 6,5 e apresente uma alta densidade de cargas, que se adsorvem facilmente nas superfícies carregadas negativamente (KIMURA, 2001).

Uma vez que a maioria das impurezas coloidais na água carrega cargas negativas, coagulantes catiônicos são, geralmente, usados para o tratamento de água e efluentes industriais. Como a quitosana, em pH apropriado é um polycation, seu acoplamento a outras estruturas de carga contrária, pode gerar aplicações no tratamento de água (MORAES, 2009). A quitosana tem um grupo amino em cada unidade de glucose, por essa razão ela tem um alto potencial para coagulação da matéria coloidal (MATHUR e NARANG, 1990).

Os fatores que podem afetar a conformação da quitosana são o pH, a força iônica, a concentração do polímero e o seu volume hidrodinâmico. Em altas concentrações, as moléculas da quitosana estão bem próximas e os contra-íons não abandonam o domínio molecular. Assim, a carga efetiva aumenta, devido à alta repulsão e a estrutura do polímero torna-se mais estendida; e em baixas concentrações os contra-íons se difundem para longe do domínio molecular (LONGHINOTTI, 1996). Na Figura 3.3 há uma representação da unidade monomérica de repetição da quitosana.

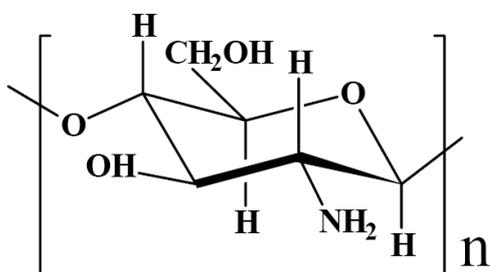


Figura 3.3: Unidade de repetição monomérica da quitosana

Fonte: <http://www.polymer.com.br>

Várias pesquisas comprovam que a quitosana é efetiva para a obtenção de água potável. A coagulação com o biopolímero produz flocos de boa qualidade, isto é, flocos grandes com alta velocidade de sedimentação (PAN et al., 1999).

Para alcançar o mesmo nível de remoção de turbidez em estudos de tratamento de água, a quantidade de quitosana requerida é apenas a metade da quantidade necessária de policloreto de alumínio. Observa-se também que a dosagem ótima de quitosana diminuiu em meio ácido, atribuindo esse fenômeno ao aumento de grupos amino protonados na quitosana em pH mais baixo. A desestabilização das partículas foi aumentada pelo aumento dos grupos atacados seguido pela neutralização de cargas, resultando na diminuição na dosagem ótima (MORAES, 2009).

A quitosana, polímero natural produzido a partir da quitina presente em resíduos de processamento de camarão e caranguejo, tem se mostrado efetiva na coagulação de sólidos suspensos em resíduos de processamento de vegetais, aves e laticínios, além de ser um agente efetivo na coagulação de lodos ativados. O lodo resultante da utilização deste polímero natural é conhecido por ser mais nobre, por ser natural, o que possibilita o seu reaproveitamento como ingrediente nas formulações para nutrição animal ou ainda como fertilizante (CURI, 1995).

A Figura 3.4 apresenta um esquema que representa a produção de quitosana, e na Figura 3.5 visualiza-se a quitosana comercial Polymar.

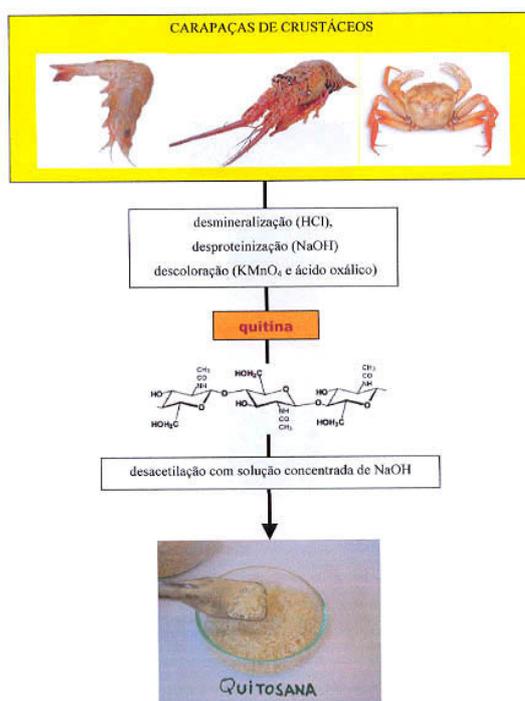


Figura 3.4 – Esquema de preparação de quitina e quitosana a partir de exoesqueleto (carapaças) de crustáceos.

Fonte: www.crq4.org.br/



Figura 3.5 - Quitosana em pó Polymar

Tanfloc

Taninos são amplamente distribuídos em plantas superiores e ocorrem em níveis elevados em diversos tecidos vegetais utilizados como alimentação humana ou animal (MAKKAR, 1989).

Os taninos são moléculas fenólicas encontradas nas formas de monômeros, oligômeros ou polímeros, que possuem a capacidade de formar complexos com proteínas e outras macromoléculas e minerais. Estes compostos possuem várias aplicações, as quais incluem o curtimento de peles animais e no tratamento de esgotos e de águas destinadas ao consumo humano (TANAC, 2003).

No tratamento de esgoto e de águas para o consumo, os taninos podem ser aplicados nos processos de coagulação e floculação, os quais são responsáveis pela remoção de partículas como minerais, sólidos inertes e microrganismos. Estas partículas são removidas pela formação de flocos com alta densidade, que são posteriormente decantados (TANAC, 2003).

Os principais tipos de taninos são: Taninos Hidrolisáveis, Taninos condensados, Taninos complexos e Florotaninos.

Taninos hidrolisáveis

Segundo MARTINEZ (1996), DUTRA (1997) e SOLENO (1932) os taninos hidrolizáveis são aqueles que possuem uma estrutura de poliéster que se hidrolisam com facilidade:

Galotaninos – apresentam como núcleo a glicose;

Elagitaninos – igual ao grupo dos galotaninos só que se forma com mais um grupo hexahidroxidofenol (ácido gálico) e glicose;

Oligoméricos complexos – estes se classificam segundo a estrutura e o modo de condensação entre os monômeros (85% dímeros e 10% trímeros).

Taninos condensados

De acordo com SILVA (1999), os taninos são constituídos por unidades flavonóides, com diferentes graus de condensação.

Os taninos condensados possuem ligações C – C, mais dificilmente rompidas. Pela diferente natureza das unidades constituídas e dos tipos de ligações formadas entre monômeros, tratam-se de substâncias quimicamente diferentes, onde o proantocianidas contém grupos floroglucinólicos (taninos de pinhos) e resorcinólicos (mimosa e quebracho) (MARTINEZ, 1996 e DUTRA, 1997).

Taninos complexos

Contém os grupos hidrolisáveis e condensados. Neste grupo se encontram taninos condensados e das unidades flavonóides (SILVA, 1999).

Florotanninos

Uma quarta classe de taninos encontrada, porém entre os vegetais inferiores são os florotanninos, formados exclusivamente de unidades floroglocinol ligadas por C – C ou C – O, por elemento oxidativo encontrados até em oito unidades (MARTINEZ, 1996 e DUTRA, 1997).

O tanino condensado é o mais utilizado como floculante por ser mais viscoso que o hidrolisável. Nos hidrolisáveis, já existe uma maior concentração de glicose em sua estrutura nuclear tornando-os assim, com uma menor toxidez. Porém, quando utilizado para tratamento de águas para abastecimento ou tratamento de esgotos a concentração utilizada como coagulante está abaixo das concentrações suficientes para intoxicar o meio, já que, uma super dosagem não necessariamente acarretará a floculação ideal. Por outro lado, os taninos condensados são agentes antimicrobianos (fungicidas, algicidas e antibacterianos), por serem reguladores de crescimento e germinação de plantas e funções correlacionadas a estas (SILVA, 1999).

Segundo SILVA (2003) o uso de biopolímeros extraídos de vegetais no processo de coagulação tem várias vantagens em comparação com os sais químicos:

- (i) a natureza da alcalinidade da água não é consumida durante o processo de tratamento;
- (ii) o lodo gerado após tratamento apresenta tanto um menor volume como se encontra livre de metais pesados quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos;
- (iii) estes biopolímeros podem ser originários de plantas locais com fácil processamento dando um caráter potencial de baixos custos operacionais quando comparados com reagentes químicos muitas vezes importados.

Na Figura 3.6 há uma representação da estrutura química do tanino utilizado para a produção do Tanfloc comercial. Na Figura 3.7 a Acácia Negra planta da qual é extraído o tanino para produção do Tanfloc. Na Figura 3.8 apresenta o Tanfloc.

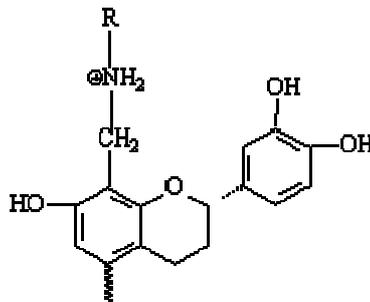


Figura 3.6 - Estrutura química do Tanfloc (Tanato Quaternário de Amonêo)

Fonte: http://www.tratamentodeagua.com.br/R10/Biblioteca_Detalhe.aspx?codigo=89



Figura 3.7 - Acácia Negra

Fonte: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AcaciaNegra/>



Figura 3.8 - Tanfloc

3.3.3 - Sedimentação

A sedimentação corresponde a fase em que os flocos, com seu tamanho consideravelmente aumentado, tendem pela ação da gravidade a sedimentar. A ocorrência da sedimentação das partículas suspensas proporciona a clarificação da água pela separação das fases sólida e líquida (DI BERNARDO, 1993) quanto maior a velocidade de sedimentação, menor será o tempo de residência necessário para a clarificação da água. Muitas vezes, a utilização exclusiva de coagulantes (orgânico ou inorgânicos) não permite a formação de flocos suficientemente densos, determinantes para a obtenção de uma taxa de sedimentação satisfatória e nestes casos, a utilização de auxiliares de floculação conhecidos como polieletrólitos mostra-se necessária.

Segundo CARVALHO (2008) o processo de sedimentação para a remoção de partículas sólidas em suspensão é um dos mais comuns no tratamento de água. Consiste na utilização de forças gravitacionais para separação de partículas de densidade superior à da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. As partículas que não são removidas na sedimentação, ou por seu pequeno tamanho ou por serem de densidade muito próxima a da água deverão ser removidas na filtração.

Esse é um fenômeno físico no qual as partículas suspensas apresentam movimentos descendentes em meio líquido, em decorrência da ação da gravidade. Sendo assim, propicia a clarificação da água (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

De acordo com DI BERNARDO E DANTAS (2005) a velocidade de sedimentação dos flocos vai depender da qualidade da água bruta, das características químicas da coagulação e dos parâmetros físicos da floculação.

3.3.4 - Filtração

A filtração consiste na passagem da água por um meio poroso (filtrante) que deve ser capaz de reter os flocos (ou pedaços daqueles que se quebram) que não sedimentaram, e eventualmente também alguns microrganismos. A filtração corresponde a uma operação de polimento para a qualidade da água. Desta forma, verifica-se a alteração das características da água tanto pela simples ação mecânica de retenção, caso o meio filtrante seja um papel de filtro, como também sedimentação de partículas sobre o meio poroso como, por exemplo, os grãos de areia que desta forma também aumenta a possibilidade de agregação das partículas remanescentes na massa líquida (RAMOS, 2005).

Em geral, a retenção de impurezas é considerada como sendo o resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. A princípio, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos e, posteriormente, permanecer aderida de modo a resistir às forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento. A

importância da filtração no tratamento de água consiste no fato de que esta é a última etapa de clarificação que garante a qualidade adequada da água (DI BERNARDO, 1993).

A filtração é um processo imprescindível para a produção contínua e segura de água potável, e pode ser rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração. Para o uso eficiente da filtração rápida, é necessário o pré-tratamento da água bruta com coagulação química, podendo ou não haver a floculação e decantação ou flotação, dependendo da qualidade da água a ser tratada. Como na filtração lenta não é utilizada a coagulação química, a água a ser filtrada deve possuir características apropriadas, pois caso contrário o processo torna-se ineficaz. Por isso, na atualidade, a filtração lenta tem sido precedida por unidades de pré-tratamento, geralmente constituídas por pré-filtros de pedregulho (DI BERNARDO, 1999b).

Segundo VIANNA (1992), a filtração numa estação de tratamento de água remove as partículas em suspensão que não foram retidas na sedimentação. Juntamente com essas partículas, a filtração pode remover também os microorganismos que a elas estiverem associados.

Quando se utiliza a operação de filtração com filtro de areia, os resultados demonstram normalmente uma boa remoção de bactérias, na ordem de 90%, alta remoção de cor e turbidez, porém, baixa remoção de odor e sabor (DEC/UFCG, 2006).

3.4 – Lodos da Estação de Tratamento de Água

Para transformar a água bruta em água potável para consumo humano, a Estação de Tratamento de Água utiliza os processos de coagulação, floculação, decantação e filtração adicionados de diversos componentes formando resíduos que serão removidos na sedimentação e filtração, principalmente nos decantadores, sendo estes resíduos chamados de lodo de ETA (TSUTIYA; HIRATA, 2001).

A quantidade de lodo é dependente da qualidade físico-química das águas bruta e tratada e dos coagulantes e produtos utilizados no processo de sua potabilização. Desta forma, o volume gerado passa a ser diretamente proporcional à dosagem de coagulante utilizado no processo, o qual varia entre 0,2 e 5% do volume total de água tratada pela ETA (RICHTER, 2001).

A identificação de possíveis impactos ambientais, das formas de tratamento da água e de disposição final do lodo, pode ser antecipada pela determinação qualitativa e quantitativa de sua composição química, da distribuição e tamanho das partículas, da filtrabilidade e de sua resistência específica (CORDEIRO, 1993).

A necessidade de dispor o lodo de modo econômico e ambientalmente seguro é um requisito moderno. Os meios efetivos de disposição de lodo consistem naqueles de menor custo, que projetem o meio ambiente e mantenham a segurança operacional por longo período. A seleção da melhor opção ambientalmente praticável envolve a consideração de fatores sociais, econômicos e técnicos (RIBEIRO, 2007).

Os resíduos gerados nas ETAs, tanto do ponto de vista quantitativo, quanto qualitativo, representam um problema sério para as instituições que gerenciam tais sistemas. Segundo GUERRA (2005), que classificou o lodo de duas ETAs, o lodo é um resíduo Classe IIA - não perigoso e não inerte. Devido a tal classificação o lodo deve ser disposto em aterro industrial e/ou sanitário. Há muito tempo, o destino deste resíduo (lodo) da ETA vem sendo os cursos d'água próximos às estações, porém, existe uma crescente preocupação acerca desta prática. A regulamentação tem restringido ou até proibido essa disposição. Esta prática tem sido muito questionada devido aos riscos à saúde e danos ambientais inerentes a mesma (ANDREOLI, 2001).

A busca de soluções, economicamente viáveis e ambientalmente vantajosas, para o tratamento e disposição final de lodos de ETAs continua sendo um grande desafio em todos os países, principalmente no Brasil, onde esse assunto ainda está no seu início. Diferentes alternativas de uso benéfico do lodo têm sido adotados nos países do hemisfério norte e, além de vantagens econômicas, vem transformando, em larga escala, resíduos em recursos (TSUTIYA, 2001).

3.4.1 - Características gerais do lodo de ETA

Segundo Albrecht (1972), o lodo de ETAs é uma substância não-newtoniana, extremamente gelatinosa e que resiste a passagem de água através dele, devido a estrutura de formação dos flocos durante o processo de coagulação/floculação. O lodo é resistente ao adensamento, principalmente quando a água bruta possui baixa turbidez.

Segundo GRADIN *et al* (1993) o lodo de ETA é constituído de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos provenientes da água bruta, tais como: algas, bactérias, vírus, partículas orgânicas em suspensão, colóides, areias, argila, siltes, cálcio, magnésio, ferro, manganês, etc. SILVA *et al* (2000) complementam a composição dos lodos com hidróxidos de alumínio, em grande quantidade, proveniente da adição de produtos químicos e em alguns casos polímeros condicionantes utilizados no processo. As características dos lodos podem variar também em função da tecnologia usada no tratamento de água (SARON e LEITE, 2001).

O lodo gerado em uma ETA tem características específicas e que diferem de qualquer outra ETA, e mudam durante todo ano e conforme o índice de chuvas e de acordo com o clima naquele ano ocorrerão diferenças dos lodos gerados.

3.5 – Biodegradabilidade

Quando um composto orgânico ou um efluente é considerado biodegradável, entende-se que poderá ser transformado por microrganismos ou outros mecanismos biológicos, o que resultará em mudanças nas características e propriedades químicas originais. Nos últimos anos, muitos métodos têm sido desenvolvidos para a investigação do parâmetro biodegradabilidade (REUSCHENBACH *et al.*, 2003).

O conceito de biodegradabilidade tem varias conotações, especialmente quando se trata de processos ambientais. Geralmente o termo biodegradabilidade é utilizado para representar a tendência ou susceptibilidade de transformação de determinados substratos, substâncias ou compostos pela microbiota ambiental. Assim faz-se referência aos termos digestão, decomposição, biotransformação e biodisponibilidade, quando se refere a modificações substanciais na estrutura e composição molecular de substratos orgânicos. Estas modificações são catalisadas por enzimas específicas, produzidas pela microbiota presente nesse ambiente, capazes de transformar substratos complexos em substratos disponíveis para a assimilação pela microbiota ou biomassa microbiana do lodo. No caso de substratos orgânicos, geralmente tratados como matéria orgânica, a assimilação dessa fração orgânica pela microbiota ou biomassa depende de um processo prévio caracterizado como digestão ou biodegradação promovida por enzimas extracelulares específicas (PROSAB, 2003).

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

4.1 Caracterização da Água Utilizada

A água utilizada nos ensaios foi água superficial proveniente da bacia do rio Pirapó e captada diretamente no duto de chegada da água bruta na estação de tratamento da empresa de saneamento local – SANEPAR/Maringá – Paraná. (Figura 4.1)



Figura 4.1 - Vista do ponto de captação de água da cidade de Maringá

Fonte: CARVALHO 2008

Na realização do trabalho dois tipos distintos de água foram utilizados, águas de alta turbidez e cor e águas de baixa turbidez e cor. Estas águas foram coletadas em diferentes épocas do ano, para assim avaliar a eficiência dos processos propostos em função da qualidade da água bruta utilizada.

Convencionou-se, que águas com valores de até 500 uH de cor real, 600 uH de cor aparente e 149uT de turbidez seriam consideradas água de cor e turbidez relativamente baixas. Águas com

valores de cor real e aparente e turbidez acima destes valores foram consideradas águas de cor e turbidez altas.

A caracterização das amostras foi feita no momento da coleta, na água *in natura* e após os ensaios na água tratada, foram realizados ensaios para a determinação dos parâmetros químicos, físicos e microbiológicos.

Os parâmetros avaliados foram: cor aparente e verdadeira, turbidez, materiais com faixa de absorção em UV-254 nm, pH, condutividade, amônia, nitrito, nitrato, sulfito, sulfato, fosfato, cloretos, as diversas frações de sólidos, alcalinidade, acidez volátil, dureza, metais, coliformes totais e *Escherichia coli*. A seguir serão apresentados os procedimentos utilizados para avaliação dos parâmetros.

- **Cor Aparente e Verdadeira**

Para a leitura da cor foi utilizado um espectrofotômetro HACH DR 2010, pelo programa 120, com comprimento de onda de 455 nm, por comparação visual com padrão de cobalto-platina, segundo procedimento recomendado pelo Standard Methods (APHA, 1995).

Para a determinação da cor aparente utilizou-se a amostra sem prévia preparação e para a cor verdadeira utilizou-se a amostra após a filtração.

- **Turbidez**

As análises de turbidez foram realizadas em um Turbidímetro portátil HACH – modelo 2100P, segundo procedimento recomendado pelo Standard Methods (APHA, 1995). O resultado da turbidez é expresso em UT (Unidade de turbidez).

- **Materiais com Faixa de Absorção em UV-254 nm**

As leituras de absorção UV foram realizadas em um espectrofotômetro HACH – modelo DR 5000, segundo procedimento recomendado pelo Standard Methods (APHA, 1995).

A concentração de matéria orgânica natural pode ser determinada pela absorbância em UV-254 nm e pelo COT. A absorbância em UV-254 nm é utilizada como uma alternativa para representação da matéria orgânica natural (MON) (ou da potencial formação de trihalometanos) em água (Najm et al., 1994; Eaton, 1995).

- **pH**

O pH foi determinado por meio de pH-metro Digimed DM-2, conforme metodologia descrita no manual do aparelho.

- **Condutividade**

A condutividade foi determinada a partir de um condutivímetro da marca Digimed, modelo DM-3, conforme metodologia descrita no manual do aparelho.

- **Oxigênio Dissolvido (OD)**

O oxigênio dissolvido foi determinado por meio de oxímetro Digimed DM-4, conforme metodologia descrita no manual do aparelho.

- **Formas de Nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) e Fosfato**

A determinação das várias formas de nitrogênio (amônia, nitrito e nitrato) e fosfato foram realizadas com a utilização de KIT-HACH, segundo a metodologia descrita no manual do equipamento Portable Datalogging Spectrophotometer HACH DR 2010.

- **Sólidos**

Os sólidos dissolvidos totais e os sólidos suspensos totais foram determinados pelo método gravimétrico, de acordo com os procedimentos recomendados no Standard Methods (APHA, 1995). A metodologia encontra-se no Anexo 1.

- **Alcalinidade e Acidez Volátil**

A alcalinidade e a acidez volátil foram determinadas pelo método titulométrico descrito por Silva (1977). A metodologia se encontra no Anexo 2.

- **Dureza**

A dureza total foi medida pelo método titulométrico com EDTA.

- **Metais**

A quantificação dos metais Ag, Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Na, Pb e Zn, foi realizada em um espectrofotômetro de Absorção Atômica Varian, Modelo Spectr AA. 10 plus.

Para as amostras de água *in natura* e tratada, foi adicionado 12 mL de solução digestora (6 H₂O: 5 HCl: 1 HNO₃) (v/v) para cada 100 mL de amostra em um becker. A mistura de amostra e solução digestora foi aquecida em chapa de aquecimento em temperatura entre 100 e 120 °C, com um vidro de relógio tampando a superfície do becker, até a redução do volume para aproximadamente

20 mL. A solução foi então filtrada em papel de filtro de faixa azul (porosidade de 8 μm) e transferida para balão volumétrico de 50 mL, com sucessivas lavagens, e o volume completado com água destilada. O volume inicial da amostra foi de 250 mL, que foi concentrado reduzindo-se o volume a 50 mL. O procedimento completo encontra-se no Anexo 3.

- **Coliformes Totais e *Escherichia coli***

Os indicadores de microrganismos patogênicos, como coliformes fecais e totais, foram quantificados por meio das placas para contagem de *Escherichia coli* e coliformes totais da 3M Petrifilm, segundo os métodos NMKL (147.1993) e AOAC (991.14), respectivamente.

A quantificação dos indicadores microbiológicos foi realizada na água bruta e na água tratada. A água superficial e a água tratada foram conservada sob refrigeração em temperatura de até 5 °C até a realização do ensaio. O tempo decorrido entre a coleta das amostras e o início do exame bacteriológico não ultrapassou o limite de armazenamento previsto pelo Standard Methods que é de 24 horas. A metodologia adotada encontra-se no Anexo 4.

4.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA PILOTO

Utilizou-se uma Estação de Tratamento de Água (ETA) Piloto (Figuras 4.2 e 4.3) a qual simula as condições da Estação de Tratamento de Água da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) da cidade de Maringá.



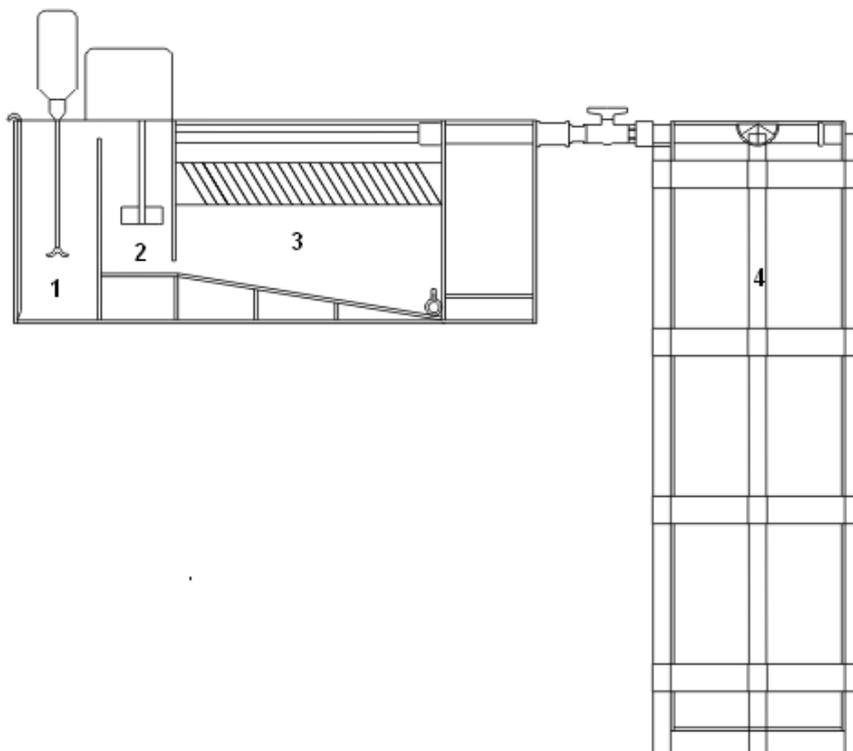
Figura 4.2 - Estação de tratamento de água piloto.



Figura 4.3 - Estação de tratamento de água piloto

Fonte: CARVALHO 2008

Na Figura 4.4 visualiza-se uma primeira câmara (1) onde inicia-se o processo de coagulação/floculação. Com a utilização de bombas peristálticas são introduzidos na câmara 1 os coagulantes e a água. Nessa etapa acontece a mistura rápida que ocorre por meio de um agitador mecânico, com hélice centralizada no fundo da câmara de coagulação(1). A água verte para a câmara de mistura lenta (2) pela parte superior. A mistura lenta ocorre por meio de um pequeno agitador. A mistura floculada encaminha-se para o decantador (3) pela parte inferior do floculador. No decantador de placas paralelas, após a decantação, a água decantada encaminha-se, por vertedouro horizontal para o filtro, que apresenta as seguintes características: diâmetro de 20 cm, com camadas filtrantes que reproduziram as mesmas condições de filtração da ETA da cidade de Maringá. Esse filtro possui dupla camada filtrante, sendo a camada superior com altura de 45 cm, em antracito, com diâmetro efetivo de 1mm, e a camada inferior com 25 cm de altura, em areia, com diâmetro efetivo de 0,45 mm.



- * 1 Câmara de mistura rápida;
- * 2 Câmara de mistura lenta,
- * 3 Decantador,
- * 4 Filtro

Figura 4.4 – Esquema da estação de tratamento de água piloto

CARVALHO (2008) definiu as condições de funcionamento da ETA-piloto para que essa funcionasse sob as mesmas condições da ETA da SANEPAR – Maringá. Tais condições são apresentadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Condições de funcionamento da ETA - piloto

Vazão da água	Gradiente de mistura rápida	Tempo de mistura rápida	Gradiente de mistura lenta	Tempo de mistura lenta	Tempo de sedimentação
54L/h	800(segundos) ⁻¹	86 segundos	12(segundos) ⁻¹	43minutos e 44 segundos	50 segundos

Utilizaram-se como coagulantes na ETA piloto o coagulante químico PCA, os coagulantes naturais: *Moringa oleifera*, Quitosana e Tanfloc e a associação entre os coagulantes naturais e o coagulante químico PCA. As concentrações dos coagulantes usados foram determinadas em trabalhos desenvolvidos anteriormente. As concentrações ótimas para a *Moringa oleifera* e para a associação Moringa/PCA foram determinadas por CARDOSO (2007), para a Quitosana, para o PCA e para a associação Quitosana/PCA foram determinadas por CARVALHO (2008) e para o Tanfloc e para a associação Tanfloc/PCA por MORAES (2009). Tais autores determinaram as concentrações

em ensaios de jar test, no presente trabalho essas concentrações foram transformadas em vazão em aplicadas em uma estação de tratamento piloto, fluxo contínuo. As Tabelas 4.2 e 4.3 apresentam as condições experimentais aplicadas para águas de baixa cor e turbidez e para águas de alta cor e turbidez, respectivamente.

Tabela 4.2 – Condições experimentais – água de baixa cor e turbidez

pH	Coagulante aplicado	Vazão do coagulante	Fonte
7,56	PCA 10% v/v [P] =37mg/L	0,257mL/min.	CARVALHO (2008)
5,0	Quitosana Comercial Polymar 1%/m/v [Q]=5,5mg/L	0,491mL/min	CARVALHO (2008)
6,0	Moringa 1%/m/v [M] =50mg/L	0,87mL/min.	CARDOSO (2007)
3,0	Tanfloc [T]=5mg/L	1,82mL/min	MORAES (2009)
7,0	Associação PCA 10% com Quitosana1% [P]=15,0mg/L:[Q]=8,0mg/L	[Q]=0,72mL/min [P]=0,10mL/min	CARVALHO (2008)
7,0	Associação PCA 10% com Moringa 1% [P]=20,0mg/L:[M]=350mg/L	[M]=1,00mL/min [P]=0,10mL/min	CARDOSO (2007)
7,0	Associação PCA 10% com Tanfloc [P]=15,0mg/L:[T]=5mg/L	[T]=0,98mL/min [P]=0,10mL/min	MORAES (2009)

*[P] - concentração de PCA,

*[Q] - concentração de quitosana

*[M] - concentração de moringa

*[T] - concentração de tranfloc

Tabela 4.3 – Condições experimentais – água de alta cor e turbidez

pH	Coagulante aplicado	Vazão do coagulante	Fonte
7,56	PCA 10% v/v [P] =80mg/L	0,55mL/min.	CARVALHO (2008)
5,0	Quitosana Comercial Polymar 1%/m/v [Q] =12mg/L	1,08mL/min	CARVALHO (2008)
6,0	Moringa 1%/m/v [M]=400mg/L	0,90mL/min	CARDOSO (2007)
4,0	Tanfloc [T]=55mg/L	1,80mL/min	MORAES (2009)
5,0	Associação PCA 10% com Quitosana 1% [P]=80,0mg/L:[Q]=11,0mg/L	[Q]=0,99mL/min [P]=0,55mL/min	CARVALHO (2008)
5,0	Associação PCA 10% com Moringa1% [P]=20,0mg/L:[M]=350mg/L	[M]=1,35mL/min [P]=0,55mL/min	CARDOSO (2007)
5,0	Associação PCA 10% com Tanfloc [P]=15,0mg/L:[T]=50mg/L	[T]=1,25mL/min [P]=0,55mL/min	MORAES (2009)

*[P] - concentração de PCA,

*[Q] - concentração de quitosana

*[M] - concentração de moringa

*[T] - concentração de tranfloc

Os parâmetros de gradiente de mistura rápida e mistura lenta, taxas de decantação e filtração, foram obtidos fazendo-se uma relação com a operação da Estação de Tratamento de Água de Maringá. Os tempos também foram os mesmo tempos de operação da ETA Maringá.

A ETA piloto foi alimentada por meio de uma bomba peristáltica, ajustada para uma vazão de 54L/h, os coagulantes foram aplicados no ponto inicial da câmara de mistura rápida utilizando-se uma

bomba peristáltica. Para cada água tratada foram utilizados separadamente cada um dos coagulantes (PCA, Quitosana, Moringa e Tanfloc) e as associações dos mesmos (PCA+Quitosana, PCA+Moringa, PCA+Tanfloc).

Em estações de tratamento de água a correção do pH no final do processo é uma prática comum, no entanto durante a realização deste trabalho não realizou-se essa correção.

4.3 LODO

O lodo depositado no fundo do decantador foi recolhido e transferido para os cones imhoff (Figura 4.5), para a quantificação do mesmo. Após a decantação foi filtrado em papel de filtro quantitativo, de porosidade de $8\mu\text{m}$. O lodo retido no papel de filtro foi seco, pesado e feita a digestão para posterior análise dos metais presentes no mesmo, utilizou-se uma massa conhecida de lodo seco e adicionado 50 mL da solução para extração (2 HNO_3 : 1 HCl) (v/v). A mistura foi levada ao bloco digestor com aquecimento gradual até temperatura de $180\text{ }^\circ\text{C}$ e permanecia nesta temperatura até volume final de aproximadamente 2 mL. Após, a solução concentrada foi filtrada, com sucessivos enxágües, com água destilada, em papel de filtro de faixa azul (porosidade de $8\mu\text{m}$) e o volume completado para 50 mL em balão volumétrico. Para os cálculos da concentração dos metais levou-se em conta a massa de lodo seco. A descrição do procedimento encontra-se no Anexo 5.



Figura 4.5 - Cone imhoff

Fonte: CARVALHO (2008)

Com o lodo formado na ETA foram realizados ensaios de biodegradabilidade. O lodo retirado do tanque de sedimentação foi transferido para os frascos do equipamento OxiTop OC 110 (Figura 4.6), o lodo foi mantido a temperatura constante de 25°C, sob agitação durante 28 dias, a biodegradabilidade foi analisada pelo programa do OxiTop OC 110 que mede a diferença de pressão dentro do frasco.

Os gases formados nos tubos de biodegradabilidade foram analisados por cromatografia gasosa, no cromatógrafo Varian 1420, 1982, Condutividade Térmica. Após o 28º dia do teste de biodegradabilidade uma amostra dos gases formados dentro do frasco foi retirada com uma seringa por um dos orifícios assinalado na Figura 4.6 pelo número (1), e imediatamente injetado no cromatógrafo.



Figura 4.6 - Equipamento OxiTop OC 110

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 – Água de Baixa Cor e Turbidez

5.1.1 – Caracterização da água bruta

A Tabela 5.1 apresenta as características físico-químicas e microbiológicas presentes na água bruta de baixa cor e turbidez, que foram utilizadas nos ensaios na Estação de Tratamento de Água Piloto (ETA-piloto).

Tabela 5.1 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água bruta de baixa cor e turbidez

Parâmetro	Portaria 518/2004	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	15	467	577	247	344	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	-	261	502	212	50,6	
Turbidez (uT)	5	70	83	39,6	50,9	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	-	7,02	6,0	4,38	3,16	
Condutividade (µScm ⁻¹)	-	104,6	102,6	110,9	111,2	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	-	0,388	0,424	0,181	0,241	
pH	6,0-9,5	7,60	8,22	7,81	7,4	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	-	0,61	0,32	0,25	0,53
	NH ₃	1,5	0,75	0,39	0,35	0,65
	NH ₄ ⁺	-	0,80	0,41	0,37	0,69
	NO ₂ ⁻	-	0	0	0	0,023
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ ⁻	1	0	0	0	0,074
	NaNO ₂	-	0	0	0	0,112
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ ⁻	-	10,0	1,6	1	1,5
	NO ₃ ⁻	10	44,2	6,8	4,6	6,8
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	-	0,16	0,44	0,45	0,14
	P	-	0,05	0,18	0,15	0,04
	P ₂ O ₅	-	0,12	0,35	0,36	0,10
Sólidos Suspensos Totais (SST)(mgL ⁻¹)	-	16,67	28,67	6,7	67,3	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)(mgL ⁻¹)	1000	149,33	64,33	101,3	136,7	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	-	42,5	43	48	45	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	-	15	42	33	9	
Dureza (mgL ⁻¹)	500	38	50	52	20	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	Ausente	0	-	5	7	
Escherichia coli (UFC/100 mL)	Ausente	0	-	3	6	

- Não foi determinado

Água 1 *: coletada dia 14/01/2009

Água 2 *: coletada dia 21/01/2009

Água 3 *: coletada dia 28/01/2009

Água 4 *: coletada dia 04/02/2009

A tabela 5.2 apresenta as concentrações de metais presentes na água bruta de baixa cor turbidez.

Tabela 5.2 – Concentração de Metais na Água Bruta de baixa cor e turbidez

Parâmetro	Portaria 518/2004	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	-	0,04	0,00	0,00	0,04
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	1,70	2,00	0,75	0,87
Bário (mgL ⁻¹)	0,7	0,01	0,02	0,02	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,005	0,000	0,006	0,011	0,002
Cromo (mgL ⁻¹)	0,05	0,01	0,02	0,01	0,02
Cobre (mgL ⁻¹)	2	0,01	0,01	0,00	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,3	2,04	2,37	1,30	2,70
Manganês (mgL ⁻¹)	0,1	0,02	0,03	0,04	0,05
Sódio (mgL ⁻¹)	200	0,80	0,99	0,88	2,38
Níquel (mgL ⁻¹)	-	0,00	0,00	0,00	0,0
Cobalto (mgL ⁻¹)	-	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	-	1,51	0,58	1,21	1,99
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Zinco (mgL ⁻¹)	5	0,06	0,02	0,03	0,05

Água 1 *: coletada dia 14/01/2009

Água 2 *: coletada dia 21/01/2009

Água 3 *: coletada dia 28/01/2009

Água 4 *: coletada dia 04/02/2009

A água *in natura* apresenta impurezas que tornam a água imprópria para o consumo sem que haja um tratamento prévio da mesma. Parâmetros, tais como a cor aparente, a turbidez e a presença de microorganismos como os coliformes, encontram-se em níveis acima dos tolerados pela legislação vigente – Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Contudo um tratamento eficiente é capaz de torná-la potável. Segundo DI BERNARDO (1999b) águas de qualquer qualidade podem ser transformadas em água potável.

5.1.2 – Caracterização da água tratada com PCA (Cloreto de Polialumínio) na ETA piloto

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água, após o tratamento na ETA piloto, quando houve a utilização do coagulante químico PCA.

Observou-se que os parâmetros físico-químicos e microbiológicos atenderam a legislação em vigor, salvo o pH que foi inferior ao permitido, mais ácido, uma vez que após o tratamento não houve a correção o mesmo, prática comum nas estações de tratamento de água. É válido ressaltar ainda que não foi realizada a desinfecção da água, nem a fluoração.

Tabela 5.3 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com PCA.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	7	2	1	6
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0
Turbidez (uT)	0,54	0,17	0,52	1,17
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	7,0	5,32	3,44	3,14
Condutividade (µScm ⁻¹)	318	179,3	201	220
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,014	0,007	0,010	0,012
pH	3,47	3,65	3,46	3,92
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,25	0	0,12
	NH ₃	0,31	0	0,13
	NH ₄ ⁺	0,30	0	0,14
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,0007	0,005	0,003
	NO ₂ ⁻	0,002	0,016	0,008
	NaNO ₂	0,011	0,024	0,013
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,8	0,5	0,3
	NO ₃ ⁻	3,4	2,1	0,9
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,45	0,48	0,95
	P	0,15	0,16	0,31
	P ₂ O ₅	0,35	0,36	0,71
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	0	0	9,3
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	204	53	116	110,7
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	0	0	0
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	24	21	21	18
Dureza (mgL ⁻¹)	70	18	12	20
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0	0	0	0

Tabela 5.4 – Concentração de metais na água tratada com PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,02	0,00	0,00	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,3	0,7	0,2	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,000	0,003	0,004	0,001
Cromo (mgL ⁻¹)	0,01	0,02	0,01	0,02
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,01	0,00
Ferro (mgL ⁻¹)	0,16	0,10	0,14	0,12
Manganês (mgL ⁻¹)	0,07	0,01	0,02	0,03
Sódio (mgL ⁻¹)	1,00	0,95	1,13	1,58
Níquel (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	1,26	1,52	1,82	2,90
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,01	0,00
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,02	0,02

Pode-se observar que o tratamento da água utilizando como coagulante o PCA foi eficiente quanto a remoção de cor aparente, turbidez, remoção de compostos de absorção UV, coliformes e *E. coli*, nutrientes. Entretanto, embora a remoção da concentração de alumínio tenha sido maior que 60%, em alguns casos essa remoção não foi suficiente para que tal parâmetro atingisse os padrões estipulados pela legislação.

LEIKNES (2004) em seu trabalho atingiu uma remoção de cor aparente superior a 95% quando utilizou PCA, o mesmo pode ser observado no presente trabalho no qual se obteve uma remoção superior a 98%. Também em relação a remoção de compostos de absorção UV a remoção foi alta superior a 94%, assim como no trabalho de LEIKNES (2004).

5.1.3 – Caracterização da água tratada com Quitosana na ETA piloto

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como coagulante a Quitosana.

Tabela 5.5 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	8	1	0	10	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	0,49	0,26	0,22	0,79	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	4,49	5,33	5,55	2,67	
Condutividade (µScm ⁻¹)	338	217	157,1	185,2	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,016	0,011	0,006	0,007	
pH	3,37	3,59	3,66	3,83	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,14	0	0,11	0,13
	NH ₃	0,18	0	0,13	0,16
	NH ₄ ⁺	0,17	0	0,14	0,17
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,006	0,003	0,002	0,003
	NO ₂ ⁻	0,002	0,008	0,007	0,009
	NaNO ₂	0,010	0,012	0,005	0,013
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	1,2	0,2	0,6	0,8
	NO ₃ ⁻	5,3	0,9	2,5	3,4
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,76	0,40	0,42	0,11
	P	0,25	0,25	0,14	0,04
	P ₂ O ₅	0,52	0,57	0,32	0,08
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	0	0	5,3	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	240	54	120	96,7	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	0	0	0	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	18	15	15	12	
Dureza (mgL ⁻¹)	54	26	20	32	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0	
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0	0	0	0	

Tabela 5.6 – Concentração de metais na água tratada com quitosana.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,1	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,02	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,000	0,002	0,000	0,003
Cromo (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,00
Ferro (mgL ⁻¹)	0,23	0,12	0,00	0,11
Manganês (mgL ⁻¹)	0,05	0,03	0,00	0,02
Sódio (mgL ⁻¹)	1,00	0,75	1,04	1,42
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	3,87	0,72	2,98	2,83
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,01	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,03	0,01	0,00	0,02

O tratamento de água de baixa cor e turbidez utilizando o coagulante natural Quitosana apresentou uma remoção de cor aparente superior a 97%, de turbidez superior a 98%, de compostos de absorção UV superior a 96%. Todos os parâmetros analisados estão em conformidade com a Portaria do Ministério da Saúde que determina as características para água potável.

SPINELLI (2001b) concluiu que a Quitosana é um eficiente coagulante para o tratamento de água potável de baixa turbidez dos processos de coagulação, floculação, decantação e filtração. Normalmente, quando o processo de coagulação/floculação e decantação utilizando sulfato de alumínio, que é o coagulante comumente utilizado nas estações de tratamento a água apresenta uma turbidez remanescente entre 2 a 1,5 uT, entretanto no presente trabalho a água tratada com a Quitosana não ultrapassou os 0,80 uT de turbidez.

5.1.4 – Caracterização da água tratada com Moringa na ETA piloto

As Tabelas 5.7 e 5.8 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como coagulante a Moringa.

Embora, em análises anteriores tenha sido constatado que a Moringa é mais eficiente em água com alta cor e tubidez, durante a realização desse trabalho pode-se observar que em estações de tratamento de água, a utilização da Moringa também é viável para águas de baixa cor e turbidez, produzindo uma água com características compatíveis com a legislação em vigor.

Tabela 5.7 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Moringa

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	9	13	1	11	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	0,98	5,01	1,92	1,90	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	4,17	5,23	4,46	2,81	
Condutividade (µScm ⁻¹)	401	147,5	183,3	182,9	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,009	0,022	0,015	0,013	
pH	3,23	3,75	3,73	3,79	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,08	0,13	0,05	0,11
	NH ₃	0,11	0,15	0,6	0,14
	NH ₄ ⁺	0,10	0,14	0,6	0,14
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,005	0,001	0,001	0,003
	NO ₂ ⁻	0,002	0,002	0,002	0,011
	NaNO ₂	0,007	0,003	0,003	0,017
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,8	0,4	0,3	0,9
	NO ₃ ⁻	3,3	1,5	1,1	3,8
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,76	0,91	0,12	0,12
	P	0,25	0,43	0,78	0,04
	P ₂ O ₅	0,53	1,05	0,09	0,09
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	0	0	8,7	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	160	55	118	103,3	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	0	0	0	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	6	21	9	12	
Dureza (mgL ⁻¹)	58	14	22	24	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0	
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0	0	0	0	

Tabela 5.8 – Concentração de metais na água tratada com moringa

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,2	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,02	0,01
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,000	0,001	0,003	0,003
Cromo (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,02	0,02
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,00
Ferro (mgL ⁻¹)	0,00	0,14	0,18	0,11
Manganês (mgL ⁻¹)	0,06	0,01	0,02	0,03
Sódio (mgL ⁻¹)	0,94	1,12	1,06	1,66
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	2,56	1,27	3,50	3,32
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,01	0,00
Zinco (mgL ⁻¹)	0,03	0,01	0,01	0,01

Na tabela 5.7 observa-se que os parâmetros da água tratada com o coagulante natural Moringa atendem a legislação. Observa-se que as remoções de cor aparente e turbidez foram

superiores a 97% e 94%, respectivamente. A remoção de compostos de absorção na região do UV foi superior a 95%. A concentração de metais na água tratada com Moringa foi inferior a quantidade prevista na legislação.

OKUDA (1999) estudou a coagulação utilizando a Moringa em solução com água destilada e em solução salina. Obteve-se neste estudo uma remoção de 95% de turbidez em uma água com baixa turbidez inicial quando utilizou a Moringa em solução salina. Para a mesma água utilizando a Moringa em solução com água destilada obteve-se uma redução de turbidez de 78%, no presente trabalho obteve-se com a Moringa em solução com água destilada remoção de 94% de turbidez.

MUYIBI e EVISON (1994) afirmam que a Moringa auxilia na redução da dureza da água, no entanto no presente trabalho, embora a dureza da água tenha atendido aos parâmetros da legislação, tal afirmação não foi observada, uma vez que nas amostras de Água 1 e 4 houve o aumento da dureza da água, de 52% e 20%, respectivamente.

5.1.5 – Caracterização da água tratada com Tanfloc na ETA piloto

As Tabelas 5.9 e 5.10 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada utilizando como coagulante o Tanfloc.

Tabela 5.9 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc

Parâmetro	Água 3*	Água 4*
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	12
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0
Turbidez (uT)	0,42	1,84
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	4,50	2,87
Condutividade (µScm ⁻¹)	173,7	245
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,012	0,011
pH	3,70	4,07
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0
	NH ₃	0
	NH ₄ ⁺	0,19
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,004
	NO ₂ ⁻	0,011
	NaNO ₂	0,07
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,5
	NO ₃ ⁻	2,2
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,16
	P	0,07
	P ₂ O ₅	0,14
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	50
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	24	110,3
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	0
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	12	9
Dureza (mgL ⁻¹)	26	8
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0	0

Tabela 5.10 – Concentração de metais na água tratada com Tanfloc

Parâmetro	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,1	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,03	0,01
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,002	0,004
Cromo (mgL ⁻¹)	0,02	0,03
Cobre (mgL ⁻¹)	0,00	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,11	0,30
Manganês (mgL ⁻¹)	0,02	0,04
Sódio (mgL ⁻¹)	1,12	1,00
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00	0,02
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	2,16	2,18
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,02

Inicialmente o coagulante natural Tanfloc não seria estudado, no entanto tendo em vista sua eficiência no tratamento de água em ensaios no jar test, decidiu-se testá-lo no modulo piloto.

A exemplo dos demais coagulantes os parâmetros analisados atenderam as exigências da legislação. As reduções de cor aparente, turbidez e compostos de absorção na região do UV foram superiores a 96%, 96% e 93%, respectivamente. Vale ressaltar que as concentrações de alumínio e ferro também tiveram uma redução significativa, superior a 77% e 89%, respectivamente.

Segundo ZHOU *et al* (2008) o tanino auxilia na remoção de fósforo durante o tratamento de água, isso pôde ser observado também neste trabalho, uma vez que as menores concentrações de fósforo foram observadas nas amostras de água tratada com Tanfloc (tanino comercial), obteve-se uma remoção de 53% de fósforo na amostra de água 3 e 50% na amostra de água 4. Essa é uma importante vantagem do Tanfloc, uma vez que o fósforo está intimamente ligado ao processo de eutrofização da água, que também é um parâmetro de qualidade da água (JIANG e GRAHAN, 1998).

5.1.6 – Caracterização de água tratada com Quitosana associada ao PCA na ETA piloto

Durante a realização desse trabalho investigou-se também a utilização dos coagulantes naturais como auxiliares no tratamento de água, foram feitos então ensaios com a associação dos coagulantes naturais e o PCA.

As Tabelas 5.11 e 5.12 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como a associação dos coagulantes PCA e Quitosana.

Tabela 5.11 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana associada ao PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	12	4	3
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0
Turbidez (uT)	0,39	2,31	1,65	0,38
Oxigênio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	3,57	5,63	4,92	2,89
Condutividade (µScm ⁻¹)	195,8	168,1	190,2	222
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,014	0,016	0,008	0,007
pH	3,47	3,67	3,59	4,09
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,05	0,12	0,09
	NH ₃	0,06	0,14	0,11
	NH ₄ ⁺	0,07	0,15	0,11
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,007	0,002	0,003
	NO ₂ ⁻	0,002	0,005	0,008
	NaNO ₂	0,011	0,007	0,013
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,7	0	0,5
	NO ₃ ⁻	3,1	0,1	2,1
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,5	1,24	0,71
	P	0,16	0,40	0,23
	P ₂ O ₅	0,38	0,90	0,53
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	0	0	0
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	118	52	68	96
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	0	0	0
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	21	15	15	16
Dureza (mgL ⁻¹)	18	14	28	25
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0	0	0	0

Tabela 5.12 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Quitosana e PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,2	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,02	0,01
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,000	0,001	0,001	0,002
Cromo (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,02	0,02
Cobre (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,00	0,00
Ferro (mgL ⁻¹)	0,16	0,13	0,16	0,13
Manganês (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,01	0,03
Sódio (mgL ⁻¹)	0,67	1,11	1,12	2,08
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	3,31	1,44	0,89	2,77
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,01	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,01	0,02

As remoções de cor, turbidez e compostos de absorção na região do UV foram superiores a 97%, 95% e 96% respectivamente. É válido ressaltar que a remoção das concentrações de Alumínio foi superior às obtidas quando se utilizou o PCA isoladamente, sendo superiores a 70%.

Segundo PAN (1998) quando o PCA e a Quitosana são utilizados em conjunto há uma melhora significativa na coagulação, produzindo flocos de melhor qualidade, isto é flocos maiores e

maior velocidade de formação. Durante a realização deste trabalho observou-se que os flocos formados quando houve a associação de Quitosana e PCA foram maiores que os formados pela quitosana usada isoladamente.

5.1.7 – Caracterização da água tratada com Moringa associada ao PCA na ETA piloto

A Tabela 5.13 apresenta as características físico-químicas e microbiológicas presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como a associação dos coagulantes PCA e Moringa.

Tabela 5.13 - Características Físico-químicas e microbiológicas água da tratada com Moringa associada ao PCA.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	7	0	0	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	0,60	1,03	0,61	0,55	
Oxigênio Dissolvido (OD)	3,61	5,59	4,53	3,35	
Condutividade (µScm ⁻¹)	207	182,1	152	202	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,014	0,018	0,016	0,010	
PH	3,40	3,61	3,79	3,90	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,08	0,13	0	0,13
	NH ₃	0,11	0,15	0	0,16
	NH ₄ ⁺	0,10	0,16	0	0,17
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ ⁻ N	0,007	0,005	0,003	0,003
	NO ₂	0,002	0,008	0,011	0,010
	NaNO ₂	0,010	0,012	0,016	0,014
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ ⁻ N	0,7	0,2	0,6	0,8
	NO ₃ ⁻	3,1	1,0	2,5	3,4
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,9	1,04	1,13	0,71
	P	0,29	0,34	0,36	0,23
	P ₂ O ₅	0,67	0,78	0,84	0,53
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	0	0	0	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	52	54	102	98	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	0	0	0	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	51	15	9	17	
Dureza (mgL ⁻¹)	24	18	20	22	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0	
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0	0	0	0	

A Tabela 5.14 apresenta a concentração de metais na água tratada com a associação de Moringa e PCA. Observando que estas concentrações encontram-se todas em conformidade com a legislação vigente para água tratada do Ministério da Saúde.

Pode-se observar que com a utilização dos coagulantes PCA e Moringa em conjunto a remoção de cor aparente e turbidez foram maiores que 99%, em relação aos compostos de absorção UV a remoção foi maior que 91%. Todos os parâmetros analisados se enquadraram a legislação vigente.

Tabela 5.14 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Moringa e PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,2	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,004	0,001	0,002	0,003
Cromo (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,02	0,02
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,15	0,28	0,15	0,04
Manganês (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,01	0,04
Sódio (mgL ⁻¹)	0,78	0,80	1,26	2,43
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	1,10	0,37	0,91	2,92
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,00	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,01	0,02	0,03	0,02

A condutividade e a quantidade de sólidos dissolvidos foram inferiores quando a água foi tratada com a associação do PCA com a Moringa, do que quando usou-se os coagulantes separadamente.

5.1.8 – Caracterização da água tratada com Tanfloc associado ao PCA na ETA piloto

As Tabelas 5.15 e 5.16 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como a associação dos coagulantes PCA e Tanfloc.

Tabela 5.15 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc associado ao PCA.

Parâmetro	Água 3*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	
Turbidez (uT)	0,95	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	4,53	
Condutividade (µScm ⁻¹)	166	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,025	
pH	3,75	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,003
	NH ₃	0,004
	NH ₄ ⁺	0,004
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,004
	NO ₂ ⁻	0,012
	NaNO ₂	0,018
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,5
	NO ₃ ⁻	2,2
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,37
	P	0,12
	P ₂ O ₅	0,28
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	260,67	

Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	6
Dureza (mgL ⁻¹)	22
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0
Escherichia coli (UFC/100 mL)	0

Tabela 5.16 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Tanfloc e PCA

Parâmetro	Água 3*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,002
Cromo (mgL ⁻¹)	0,02
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,22
Manganês (mgL ⁻¹)	0,02
Sódio (mgL ⁻¹)	0,98
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	1,83
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00
Zinco (mgL ⁻¹)	0,01

Somente foi realizado ensaio com a água 3, pois anteriormente a essa data o coagulante natural Tanfloc não seria estudado, e na coleta do dia 04/02/2009 não houve água suficiente para a realização de todos os ensaios, isso justifica a ausência de ensaios nas demais águas.

O Tanfloc foi eficiente no tratamento de água quando houve a associação com o PCA, apresentando altas remoções, ressaltado que a remoção de cor foi de 100% no final do processo de tratamento, e as remoções de turbidez e compostos de absorção UV foram de 98% e 86%, respectivamente.

Os demais parâmetros atenderam a Legislação em vigor, Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

A seguir serão apresentados os resultados da porcentagem de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e UV de todos os coagulantes utilizados nesta pesquisa.

A Figura 5.1 apresenta a porcentagem de remoção de cor aparente das amostras analisadas após o tratamento na ETA piloto, com os diferentes coagulantes.

Na Figura 5.1 pode-se visualizar que houve uma remoção de cor superior a 96% em todas as amostras de água, observa-se que de maneira geral, quando houve a associação do coagulante natural com o coagulante químico PCA, a remoção de cor foi maior. Observa-se também que entre os coagulantes naturais a Moringa apresentou uma remoção menor de cor. De acordo com CARDOSO (2007), a Moringa é mais eficiente para tratar águas de alta cor e turbidez. Vale ressaltar que quando houve a associação da Moringa com o PCA obteve-se melhor remoção de cor, em relação a utilização da Moringa isoladamente, todos os ensaios.

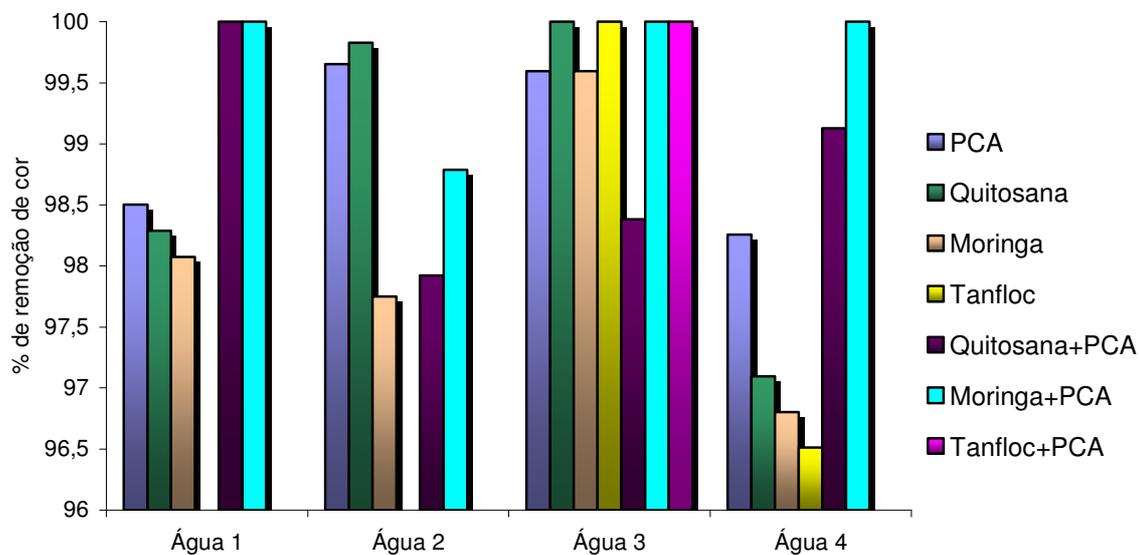


Figura 5.1 – Gráfico com as porcentagens de remoção de cor aparente na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.

Na figura 5.2 apresenta a porcentagem de remoção de turbidez das amostras analisadas após o tratamento na ETA piloto, com os diferentes coagulantes.

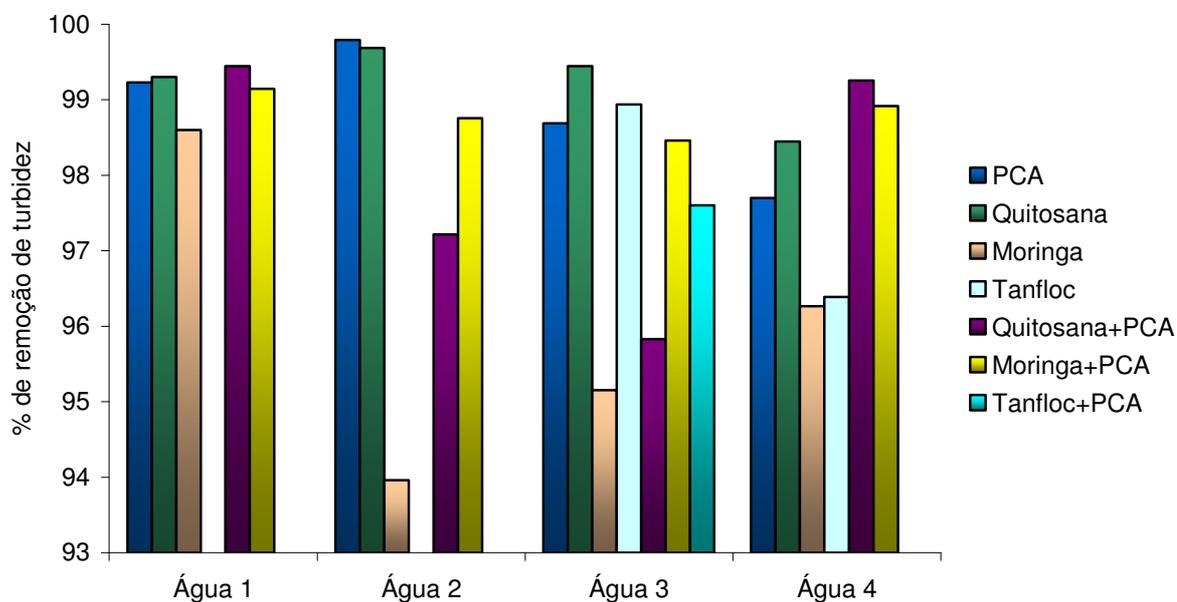


Figura 5.2 – Gráfico com as porcentagens de remoção de turbidez na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.

Observando o gráfico da figura 5.2 visualiza-se que não há uma distribuição uniforme em relação à remoção de turbidez, nota-se que todos os coagulantes apresentam uma remoção maior que 93%. Assim como a remoção de cor aparente, a remoção de turbidez sempre apresentou melhores resultados quando usou-se a Moringa associada ao PCA comparando-se a utilização da Moringa isoladamente, e essa remoção sempre foi superior a 98%.

A Figura 5.3 apresenta a porcentagem de remoção de compostos de absorção na região do UV das amostras analisadas após o tratamento na ETA piloto, com os diferentes coagulantes.

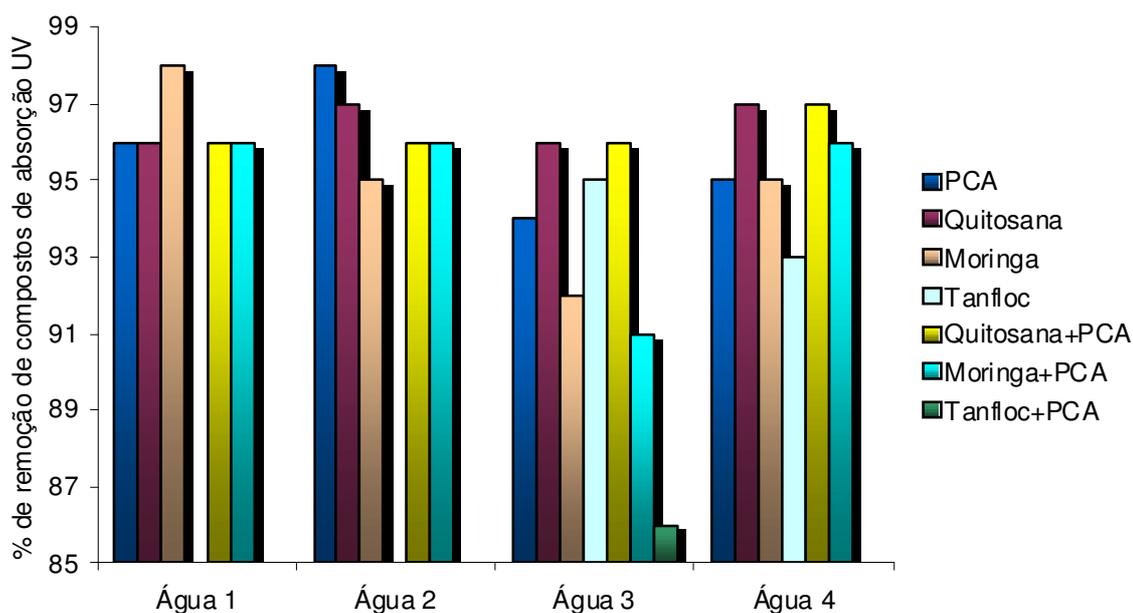


Figura 5.3 – Gráfico com as porcentagens de remoção de compostos de absorção UV na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.

Na Figura 5.3 visualiza-se que de maneira geral a remoção de compostos de absorção UV foi superior a 90%, nota-se também que a Quitosana foi o coagulante que apresentou as maiores porcentagem de remoção, tanto quando usada isoladamente quanto quando associada ao PCA.

A Figura 5.4 apresenta uma média aritmética das remoções de cor aparente, turbidez, compostos de absorção UV e da concentração de alumínio dos ensaios realizados com água de baixa cor e turbidez.

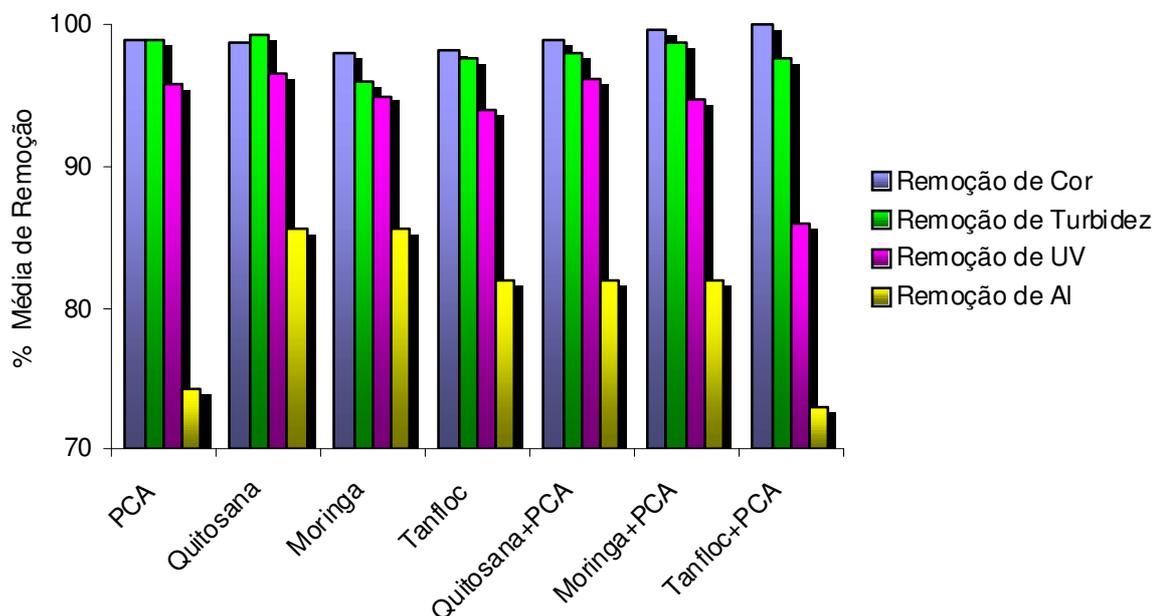


Figura 5.4 – Gráfico com as porcentagens de remoção de cor, turbidez, compostos de absorção UV e concentração de alumínio na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.

As remoções médias de cor e turbidez foram superiores a 90% para todos os coagulante, pode-se observar que em média as associações entre os coagulantes naturais e o PCA resultaram em maior remoção de cor aparente. A Moringa quando em associação ao PCA sempre apresentou melhores resultados para a remoção de cor, turbidez e compostos de absorção UV, que a Moringa usada isoladamente. A Quitosana no entanto apresentou resultados semelhantes, quando utilizada isoladamente e em associação com o PCA para esses parâmetros. Já em relação a remoção de Alumínio nota-se que a associação apresenta melhores resultados quando comparados ao PCA usado isoladamente, porém as remoções foram menores que quando os coagulantes naturais foram usados isoladamente.

Em relação a concentração de ferro, que na água bruta era superior a máxima permitida pela Portaria referida, todos os coagulantes utilizados no tratamento da água foram eficientes na remoção, isto é todos as amostra analisadas apresentaram concentração de ferro inferior a concentração presente na legislação.

Todos coagulantes foram eficientes também na remoção dos coliformes e *E.coli*, que devem estar ausentes na água para consumo uma vez que tais microorganismos são patogênicos.

5.2 – Água bruta de alta cor e turbidez

5.2.1 – Caracterização da água bruta de alta cor e turbidez na ETA piloto

A Tabela 5.17 apresenta as características físico-químicas e microbiológicas presentes na água bruta de alta cor e turbidez que foram utilizadas nos ensaios na Estação de Tratamento de Água Piloto (ETA-piloto).

Tabela 5.17 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água bruta de alta cor e turbidez

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	2957	3125	1584	4025	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	1950	840	740	3850	
Turbidez (uT)	579	429	270	620	
Oxigênio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	2,18	2,39	3,48	4,58	
Condutividade (µScm ⁻¹)	100,1	88,8	110,3	77,6	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,593	0,652	0,902	2,649	
pH	7,69	7,27	7,96	7,29	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	3,51	2,47	1,39	0,69
	NH ₃	4,27	3,01	1,68	0,80
	NH ₄ ⁺	4,52	3,19	1,78	0,78
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ ⁻ N	0,227	0,130	0,000	0,000
	NO ₂	0,746	0,429	0,000	0,000
	NaNO ₂	1,118	0,643	0	0,000
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ ⁻ N	8,5	6,1	3,8	8,79
	NO ₃ ⁻	37,8	27,2	16,7	36,2
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,94	0,40	0,89	0,00
	P	0,31	0,13	0,30	0,00
	P ₂ O ₅	0,70	0,30	0,64	0,00
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	198,67	124	155,33	196,67	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	475,3	340	144,67	183,33	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	43	37	52	34	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	18	12	18	12	
Dureza (mgL ⁻¹)	92	56	56	98	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	18	27	27	27	
Escherichia coli (UFC/100 mL)	9	7	7	15	

Água 1*: coletada dia 11/02/2009

Água 2*: coletada dia 17/02/2009

Água 3*: coletada dia 27/02/2009

Água 4*: coletada dia 09/03/2009

A Tabela 5.18 apresenta as concentrações de metais presentes na água bruta de alta cor e turbidez. Nota-se que as concentrações de metais, como o Alumínio e o Ferro, é muito superior nestas águas quando comparadas as concentrações presentes nas águas de baixa cor e turbidez.

Tabela 5.18 – Concentração de metais nas águas bruta de alta cor e turbidez

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,04
Alumínio (mgL ⁻¹)	1,90	16,88	10,61	6,61
Bário (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,02	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,001	0,003	0,005	0,002
Cromo (mgL ⁻¹)	0,03	0,05	0,03	0,04
Cobre (mgL ⁻¹)	0,06	0,04	0,03	0,05
Ferro (mgL ⁻¹)	112,26	132,18	119,87	134,09
Manganês (mgL ⁻¹)	0,13	0,11	0,11	0,10
Sódio (mgL ⁻¹)	1,89	2,72	1,49	1,46
Níquel (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,01	0,01
Cálcio (mgL ⁻¹)	2,13	3,85	2,05	3,85
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,01	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,03	0,03	0,16	0,08

Água 1*: coletada dia 11/02/2009

Água 2*: coletada dia 17/02/2009

Água 3*: coletada dia 27/02/2009

Água 4*: coletada dia 09/03/2009

As amostras denominadas águas de alta cor e turbidez apresentam esse parâmetros muito acima dos máximos permitidos pela legislação, as concentrações de amônia, nitrato, alumínio e ferro também estão acima do valor máximo previsto pela legislação, além disso observou-se a presença de coliformes e *E. coli*, essas características tornam a água *in natura* imprópria para o consumo. Observou-se que a concentração de ferro nas amostras é mil vezes maior que a máxima permitida pela legislação, e que a concentração de alumínio também é muito alta.

5.2.2 – Caracterização da água tratada com PCA (cloreto de polialumínio)

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como coagulante o PCA.

Tabela 5.19 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com PCA.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	12	3	3	8	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	1,60	1,18	1,34	1,81	
Oxigênio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	2,38	1,56	3,49	5,23	
Condutividade (µScm ⁻¹)	213	168,9	236	188	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,001	0,001	0,018	0,020	
pH	3,86	4,16	4,06	4,17	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,01	0,01	0,16	0,07
	NH ₃	0,02	0,01	0,20	0,09
	NH ₄ ⁺	0,02	0,01	0,20	0,09

Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ ⁻ N	0,000	0,004	0,002	0,002
	NO ₂ ⁻	0,000	0,014	0,008	0,007
	NaNO ₂	0,000	0,020	0,011	0,011
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₃ ⁻ N	0,3	0,4	0,1	0,6
	NO ₃ ⁻	1,1	1,9	0,4	3,5
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,15	0,00	0,20	0,40
	P	0,05	0,00	0,10	0,56
	P ₂ O ₅	0,11	0,00	0,15	0,14
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)		4	0	0	2
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)		57,3	212	142	180
Alcalinidade (mgL ⁻¹)		0	2	1	2
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)		15	9	10,5	6
Dureza (mgL ⁻¹)		16	12	58	52
Coliformes Totais (UFC/100 mL)		0	0	0	0
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)		0	0	0	0

Tabela 5.20 – Concentração de metais na água tratada com PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,01	0,00
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,4	0,4	0,2	0,7
Bário (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,02	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,002	0,002	0,002	0,004
Cromo (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,00	0,02
Cobre (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,01	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,14	0,23	0,12	0,17
Manganês (mgL ⁻¹)	0,03	0,02	0,05	0,02
Sódio (mgL ⁻¹)	2,16	1,57	1,30	1,90
Níquel (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	3,80	3,14	1,51	2,65
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,01	0,02

O PCA foi efetivo na remoção de cor aparente, turbidez, compostos de absorção na região do UV, nutrientes, ferro e microorganismos, entretanto a concentração de alumínio presente na água depois do tratamento embora tenha sido menor que a concentração inicial, houve uma remoção superior a 90%, foi superior a máxima permitida pela legislação.

As remoções de cor, turbidez e composto de absorção na região do UV foram maiores que 99%, 99% e 98% respectivamente. Estas porcentagens de remoção foram superiores as porcentagens alcançadas nas águas de baixa cor e turbidez.

Observou-se que a remoção de ferro foi muito alta, aproximadamente 100%. Vale ressaltar que a concentração inicial era bastante elevada.

5.2.3 – Caracterização da água tratada com Quitosana na ETA piloto

As Tabelas 5.21 e 5.22 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como coagulante a Quitosana.

Tabela 5.21 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	23	12	5	14	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	-	0	0	0	
Turbidez (uT)	4,5	2,47	1,90	3,24	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	2,38	0,76	8,00	5,48	
Condutividade (µScm ⁻¹)	213	213	224	115,5	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,001	0,002	0,019	0,019	
pH	3,94	4,02	3,85	4,17	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,01	0,02	0,18	0,41
	NH ₃	0,02	0,02	0,22	0,47
	NH ₄ ⁺	0,02	0,02	0,24	0,50
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,000	0,000	0,002	0,000
	NO ₂ ⁻	0,000	0,000	0,008	0,000
	NaNO ₂	0,000	0,000	0,012	0,000
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,3	0,0	0,3	1,2
	NO ₃ ⁻	1,1	0,0	1,0	5,3
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,15	0,00	0,22	0,20
	P	0,05	0,00	0,07	0,23
	P ₂ O ₅	0,11	0,00	0,12	0,62
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	0	0	14,67	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	86	236	132	115,33	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	1	0	1	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	12	12	15	12	
Dureza (mgL ⁻¹)	18	10	48	38	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0	
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	0	0	0	0	

Visualizando-se a Tabela 5.21 nota-se que a cor aparente da água 1 não atingiu o valor estipulado pela legislação embora tenha havido uma remoção de 99% da cor em relação a água *in natura*, entretanto nesta mesma amostra de água a remoção de compostos de absorção UV foi de aproximadamente 100%. Os demais parâmetros analisados estão em conformidade com a Portaria 518/2004 do ministério da Saúde.

A caracterização das amostras: Água 2, Água 3 e Água 4 estão de acordo com as normas do ministério da Saúde. Vale ressaltar que as remoções de cor, turbidez e compostos de absorção UV foram maiores que 98%.

Tabela 5.22 – Concentração de metais na água tratada com quitosana

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,00	0,02
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,2	0,1
Bário (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,01	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,003	0,002	0,002	0,004
Cromo (mgL ⁻¹)	0,03	0,02	0,02	0,03
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,14	0,18	0,10	0,10
Manganês (mgL ⁻¹)	0,02	0,03	0,03	0,02
Sódio (mgL ⁻¹)	1,73	2,39	1,15	1,84
Níquel (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,01
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	2,79	1,99	2,28	3,37
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01

As concentrações de Ferro e Alumínio, que na água *in natura* eram extremamente superiores às previstas na legislação, tiveram uma remoção tal que se enquadram nas concentrações máximas permitidas para água potável.

Segundo HUANG e CHEN (1996) as propriedades das partículas presentes na água tem grande influência sobre a formação do floco quando se utilizou a Quitosana como coagulante, isso pode explicar o comportamento da amostra de água 1 em relação a remoção de cor.

5.2.4 – Caracterização da água tratada com Moringa na ETA piloto

As Tabelas 5.23 e 5.24 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando como coagulante a Moringa.

Tabela 5.23 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Moringa.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	47	12	11	9	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	7,75	2,21	3,17	1,50	
Oxigênio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	1,95	0,30	8,18	5,70	
Condutividade (µScm ⁻¹)	182,5	134,3	181,9	148,6	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,007	0,024	0,024	0,066	
pH	3,96	4,19	3,83	4,05	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,00	0,03	0,13	0,11
	NH ₃	0,00	0,04	0,16	0,13
	NH ₄ ⁺	0,00	0,04	0,17	0,15
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,002	0,005	0,003	0,000
	NO ₂ ⁻	0,006	0,005	0,008	0,000
	NaNO ₂	0,000	0,007	0,012	0,000
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,2	0,1	0,3	0,2
	NO ₃ ⁻	0,8	0,5	1,0	1,5

Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,06	0,01	0,32	0,63
	P	0,02	0,00	0,12	0,15
	P ₂ O ₅	0,04	0,01	0,20	0,18
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)		6	2,67	8,67	2
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)		128	175,3	89,33	144
Alcalinidade (mgL ⁻¹)		0	3	0	1
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)		9	13	12	9
Dureza (mgL ⁻¹)		10	30	34	36
Coliformes Totais (UFC/100 mL)		0	0	0	0
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)		0	0	0	0

Tabela 5.24 – Concentração de metais na água tratada com Moringa

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,01
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,2	0,1
Bário (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,02	0,03
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,003	0,003	0,000	0,003
Cromo (mgL ⁻¹)	0,03	0,03	0,02	0,03
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,00
Ferro (mgL ⁻¹)	0,24	0,00	0,15	0,15
Manganês (mgL ⁻¹)	0,03	0,02	0,02	0,02
Sódio (mgL ⁻¹)	1,39	1,41	1,10	1,08
Níquel (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	2,45	2,36	2,87	2,83
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,01	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,02	0,01

A cor aparente e a turbidez da amostra de água 1 estão acima das quantidades máximas da portaria 518/2004, no entanto nota-se que na mesma amostra a remoção de composto de absorção UV foi de 99%, e os demais parâmetros se enquadram na legislação. Nas demais amostras os parâmetros estão de acordo com o que está previsto pela legislação. Sendo que a remoção de cor, turbidez, e compostos de absorção UV foram maiores que 98%.

Deve-se ressaltar que a concentração de metais na água tratada com Moringa foi reduzida em relação à água *in natura*, essa redução foi muito significativa em relação ao Alumínio e ao Ferro, sendo que a remoção nas concentrações desses metais foram superiores a 98%.

Segundo NDABIGENGESERE (1994) a Moringa pouco afeta o pH e a condutividade da água tratada, no entanto na realização do presente trabalho observou-se que o pH da água tratada ficou muito mais ácido que o da água *in natura* e a condutividade da mesma aumentou.

5.2.5 – Caracterização da água tratada com Tanfloc na ETA piloto

As Tabelas 5.25 e 5.26 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada em uma estação de tratamento de água piloto utilizando como coagulante o Tanfloc.

Tabela 5.25 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	4	14	2	7	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	1,25	2,23	1,08	1,18	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	1,82	1,13	8,64	5,72	
Condutividade (µScm ⁻¹)	269	183,7	144,7	109,3	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,003	0,027	0,016	0,075	
pH	3,67	4,13	3,89	4,19	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,00	0,04	0,08	0,04
	NH ₃	0,00	0,05	0,11	0,04
	NH ₄ ⁺	0,00	0,05	0,12	0,05
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ ⁻ N	0,000	0,008	0,003	0,002
	NO ₂ ⁻	0,000	0,008	0,009	0,002
	NaNO ₂	0,000	0,012	0,013	0,003
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ ⁻ N	0,1	0,3	0,3	0,6
	NO ₃ ⁻	0,6	1,2	1,2	2,5
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,05	0,08	0,05	0,00
	P	0,08	0,03	0,08	0,00
	P ₂ O ₅	0,09	0,06	0,02	0,01
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	13,33	13,33	0	0	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	128,7	290,67	126	102	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	2	0	1	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	15	6	10,5	6	
Dureza (mgL ⁻¹)	14	28	24	26	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0	
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	0	0	0	0	

Tabela 5.26 – Concentração de metais na água tratada com Tanfloc

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,03	0,01
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,1	0,1
Bário (mgL ⁻¹)	0,00	0,02	0,03	0,01
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,003	0,002	0,002	0,005
Cromo (mgL ⁻¹)	0,03	0,03	0,02	0,03
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,31	0,15	0,07	0,26
Manganês (mgL ⁻¹)	0,05	0,00	0,01	0,01
Sódio (mgL ⁻¹)	1,91	2,64	1,66	0,87
Níquel (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,00	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,00	0,01
Cálcio (mgL ⁻¹)	2,81	3,12	1,05	1,83
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,01	0,00
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,01	0,01

A água tratada com o Tanfloc apresenta qualidade compatível com a estipulada na legislação para água potável. Nota-se que as remoções de cor aparente e turbidez foram superiores a 99% e a remoção de compostos de absorção UV foram superiores a 96%.

A remoção de fósforo assim como citado anteriormente foi a maior entre os coagulantes utilizados no tratamento de água de alta turbidez. Nota-se também que altas remoções de alumínio e ferro foram alcançadas, superiores a 98%.

HEREDIA e MARTÍN (2009) concluíram que o Tanfloc é um coagulante eficiente na remoção de metais pesados, especialmente na remoção de Cu^{+2} , Zn^{+2} e Ni^{+2} , esse comportamento foi observado durante os ensaios desse trabalho, visto que a concentração desses metais após o tratamento foi inferior a concentração destes na água *in natura*.

5.2.6 – Caracterização da água tratada com Quitosana associada ao PCA na ETA piloto

As Tabelas 5.27 e 5.28 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando a associação da Quitosana com o PCA.

Tabela 5.27 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Quitosana associada ao PCA.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	1	3	5	2	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	1,21	2,22	1,28	1,02	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	2,12	0,96	8,53	6,46	
Condutividade (µScm ⁻¹)	168,5	157,1	182,9	160,1	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,002	0,008	0,016	0,018	
PH	3,39	4,10	3,79	4,04	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,03	0,02	0,17	0,03
	NH ₃	0,04	0,03	0,21	0,04
	NH ₄ ⁺	0,04	0,03	0,22	0,03
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,000	0,000	0,003	0,003
	NO ₂	0,000	0,000	0,010	0,010
	NaNO ₂	0,000	0,000	0,016	0,015
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,4	0,0	0,2	0,4
	NO ₃ ⁻	1,9	0,0	0,8	0,7
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,16	0,00	0,82	0,15
	P	0,05	0,00	0,24	0,36
	P ₂ O ₅	0,12	0,00	0,57	0,27
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	16	1,33	0	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	124	216	92,67	92	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	2	0	1	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	12	13,5	12	9	
Dureza (mgL ⁻¹)	8	22	24	38	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0	
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	0	0	0	0	

Tabela 5.28 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Quitosana e PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,01
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,2	0,2	0,2	0,2
Bário (mgL ⁻¹)	0,01	0,03	0,02	0,01
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,003	0,002	0,004	0,004
Cromo (mgL ⁻¹)	0,03	0,04	0,02	0,03

Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,01	0,01
Ferro (mgL ⁻¹)	0,12	0,05	0,12	0,08
Manganês (mgL ⁻¹)	0,02	0,02	0,03	0,02
Sódio (mgL ⁻¹)	3,66	0,81	1,12	1,83
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,01	0,01
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	3,06	2,07	1,55	1,53
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,01	0,01
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,01	0,01

Quando utilizou-se a associação entre a Quitosana e o PCA os parâmetros analisados atenderam à Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. As remoções de cor e turbidez foram maiores que 99% e de compostos de absorção UV foi superior a 98%.

Pode-se observar também que a concentração de nutrientes na água tratada com a associação da Quitosana e do PCA foi bastante inferior a concentração da água in natura, atendendo a legislação, nota-se que a concentração de nitrito ficou próxima de zero em todos os ensaios.

5.2.7 – Caracterização da água tratada com Moringa associada ao PCA na ETA piloto

Observando-se a Tabela 5.29 visualizamos que os parâmetros encontram-se em conformidade com a portaria do Ministério da Saúde que dispõem a respeito potabilidade da água.

Comparando a utilização da associação da Moringa ao PCA com à utilização da Moringa isoladamente constata-se que a remoção de cor aparente e de compostos de absorção UV foram superior quando houve a associação entre os coagulantes.

Segundo CARDOSO (2007) o uso deste biopolímero atuando como auxiliar de coagulação, juntamente com o sulfato de alumínio, contribuiu para uma diminuição do agente químico utilizado no tratamento de água, comprovando que uma pequena quantidade da solução padrão de *Moringa oleífera* Lam adicionada ao processo diminui o consumo do coagulante químico. Tal afirmação pode ser observada neste trabalho, uma vez que a associação da Moringa com o PCA produziu resultados satisfatórios em relação as remoções de impurezas da água.

As Tabelas 5.29 e 5.30 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando a associação da Moringa com o PCA.

Tabela 5.29 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Moringa associada ao PCA.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	3	1	1	5
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0
Turbidez (uT)	1,63	0,83	1,2	1,11
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	1,70	3,41	8,39	5,85

Condutividade (μScm^{-1})		162,5	140	176,4	198,5
UV-254 nm (cm^{-1})		0,002	0,002	0,015	0,019
pH		3,90	4,49	3,18	3,99
Amônia (mgL^{-1})	$\text{NH}_3\text{-N}$	0,02	0,02	0,12	0,01
	NH_3	0,03	0,02	0,15	0,01
	NH_4^+	0,03	0,02	0,15	0,01
Nitrito (mgL^{-1})	NO_2^-N	0,000	0,000	0,002	0,003
	NO_2^-	0,000	0,000	0,008	0,008
	NaNO_2	0,000	0,000	0,012	0,013
Nitrato (mgL^{-1})	NO_3^-N	0,2	0,0	0,2	0,1
	NO_3^-	1,0	0,1	0,8	0,4
Fosfato (mgL^{-1})	PO_4^{3-}	0,14	0,00	0,86	0,65
	P	0,05	0,00	0,27	0,42
	P_2O_5	0,11	0,00	0,59	0,39
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL^{-1})		12	0	1,33	0,67
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL^{-1})		66	178	86,67	133,33
Alcalinidade (mgL^{-1})		0	6	0	0
Acidez Volátil (mgL^{-1})		15	15	6	9
Dureza (mgL^{-1})		8	24	28	44
Coliformes Totais (UFC/100 mL)		0	0	0	0
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)		0	0	0	0

Tabela 5.30 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Moringa e PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL^{-1})	0,00	0,00	0,00	0,00
Alumínio (mgL^{-1})	0,2	0,2	0,1	0,1
Bário (mgL^{-1})	0,00	0,00	0,05	0,01
Cádmio (mgL^{-1})	0,003	0,000	0,003	0,004
Cromo (mgL^{-1})	0,02	0,03	0,02	0,03
Cobre (mgL^{-1})	0,01	0,00	0,00	0,01
Ferro (mgL^{-1})	0,26	0,00	0,09	0,11
Manganês (mgL^{-1})	0,02	0,02	0,01	0,02
Sódio (mgL^{-1})	0,94	0,87	0,76	1,07
Níquel (mgL^{-1})	0,00	0,00	0,01	0,00
Cobalto (mgL^{-1})	0,00	0,00	0,01	0,00
Cálcio (mgL^{-1})	2,25	2,30	2,26	1,65
Chumbo (mgL^{-1})	0,00	0,00	0,01	0,00
Zinco (mgL^{-1})	0,02	0,02	0,01	0,01

5.2.8 – Caracterização da água tratada com Tanfloc associado ao PCA na ETA piloto

As Tabelas 5.31 e 5.32 apresentam as características físico-químicas e microbiológicas e as concentrações de metais presentes na água tratada, em uma estação de tratamento de água piloto, utilizando a associação do Tanfloc com o PCA.

Tabela 5.31 - Características Físico-químicas e microbiológicas da água tratada com Tanfloc associado ao PCA.

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*	
Cor Aparente (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	1	12	9	0	
Cor Verdadeira (uH = mgPt-CoL ⁻¹)	0	0	0	0	
Turbidez (uT)	0,60	2,05	2,07	0,78	
Oxigenio Dissolvido (OD) (mgO ₂ L ⁻¹)	2,94	1,34	9,01	5,52	
Condutividade (µScm ⁻¹)	201	140,1	150,3	175,1	
UV-254 nm (cm ⁻¹)	0,001	0,018	0,019	0,011	
pH	3,88	4,18	3,88	4,02	
Amônia (mgL ⁻¹)	NH ₃ -N	0,02	0,05	0,15	0
	NH ₃	0,02	0,06	0,23	0
	NH ₄ ⁺	0,02	0,06	0,24	0
Nitrito (mgL ⁻¹)	NO ₂ -N	0,002	0,002	0,004	0,003
	NO ₂	0,005	0,002	0,010	0,009
	NaNO ₂	0,008	0,003	0,020	0,014
Nitrato (mgL ⁻¹)	NO ₃ -N	0,2	0,1	0,2	0,0
	NO ₃ ⁻	0,9	0,2	0,6	0,0
Fosfato (mgL ⁻¹)	PO ₄ ⁻³	0,16	0,00	0,65	0,26
	P	0,05	0,00	0,22	0,28
	P ₂ O ₅	0,12	0,00	0,48	0,13
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	0	13,33	0	4	
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) (mgL ⁻¹)	68	194,67	73,33	132	
Alcalinidade (mgL ⁻¹)	0	4	0	0	
Acidez Volátil (mgL ⁻¹)	18	6	12	9	
Dureza (mgL ⁻¹)	12	28	26	36	
Coliformes Totais (UFC/100 mL)	0	0	0	0	
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	0	0	0	0	

Tabela 5.32 – Concentração de metais na água tratada com a associação de Tanfloc e PCA

Parâmetro	Água 1*	Água 2*	Água 3*	Água 4*
Prata (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,02	0,01
Alumínio (mgL ⁻¹)	0,24	0,11	0,14	0,11
Bário (mgL ⁻¹)	0,00	0,02	0,02	0,02
Cádmio (mgL ⁻¹)	0,004	0,002	0,002	0,004
Cromo (mgL ⁻¹)	0,03	0,00	0,02	0,03
Cobre (mgL ⁻¹)	0,01	0,01	0,00	0,00
Ferro (mgL ⁻¹)	0,07	0,09	0,12	0,06
Manganês (mgL ⁻¹)	0,01	0,00	0,02	0,02
Sódio (mgL ⁻¹)	2,23	1,98	1,20	0,96
Níquel (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,01	0,00
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00
Cálcio (mgL ⁻¹)	2,22	1,63	1,87	1,07
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,00	0,01	0,00	0,00
Zinco (mgL ⁻¹)	0,02	0,01	0,01	0,01

Pôde-se observar que quando houve a associação entre o PCA e o Tanfloc obteve-se remoções superiores a 99% de cor aparente e turbidez e 97% de composto de absorção na região de UV. Assim como quando utilizou-se o tanfloc isoladamente as remoções de metais pesados, especialmente Cu⁺², Zn⁺² e Ni⁺², foram altas.

As Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 apresentam gráficos comparativos dos coagulantes usados para tratar a água de alta cor e turbidez na ETA piloto.

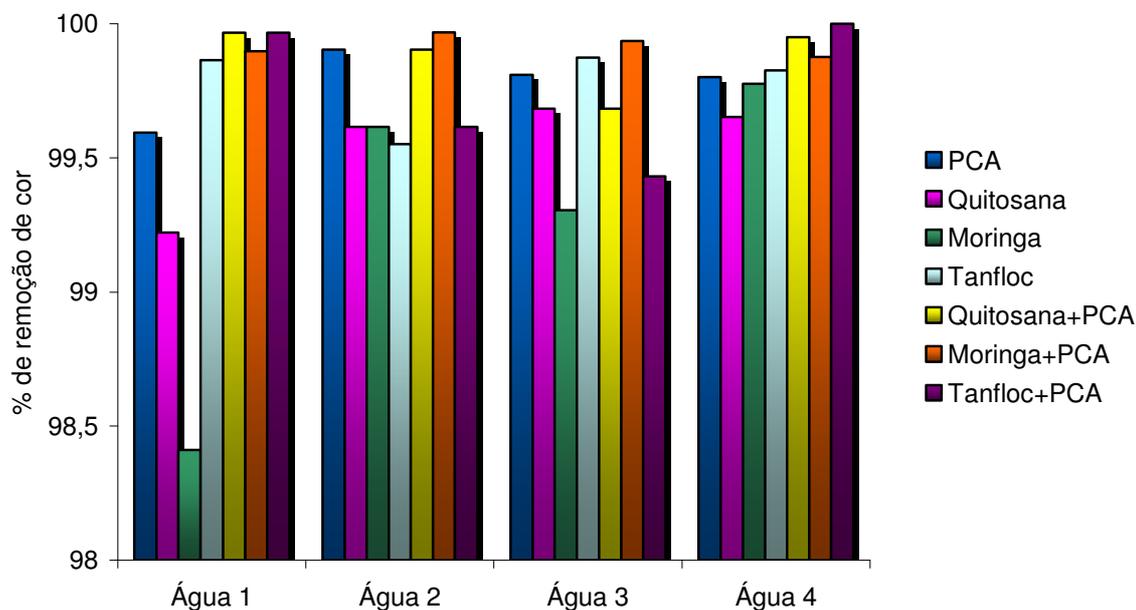


Figura 5.5 – Gráfico com as porcentagens de remoção de cor aparente na ETA piloto com os diferentes coagulantes.

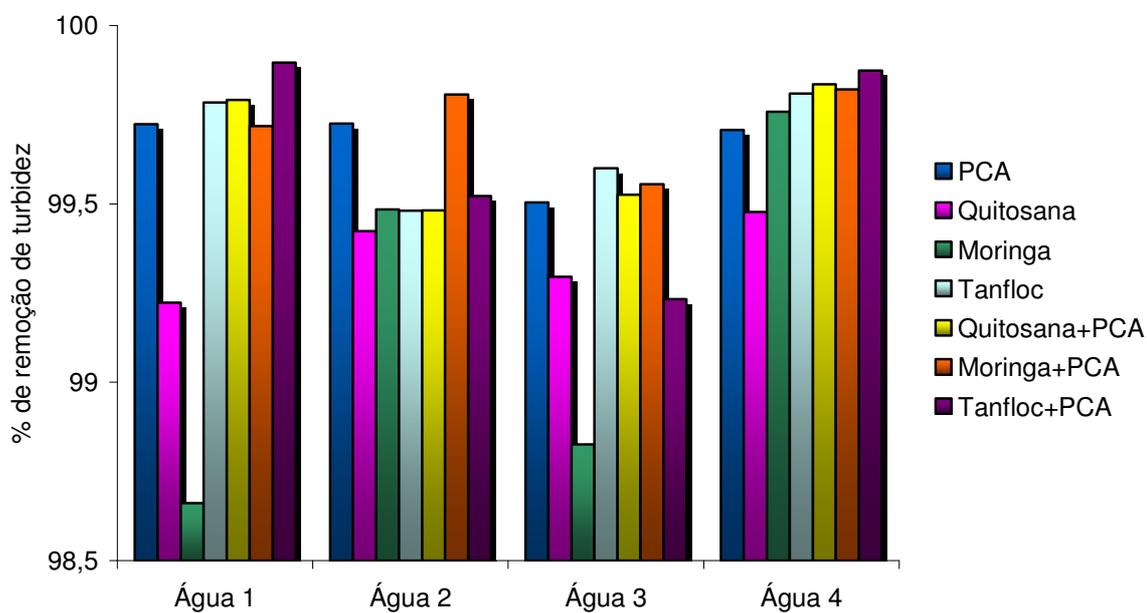


Figura 5.6 – Gráfico com as porcentagens de remoção de turbidez na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.

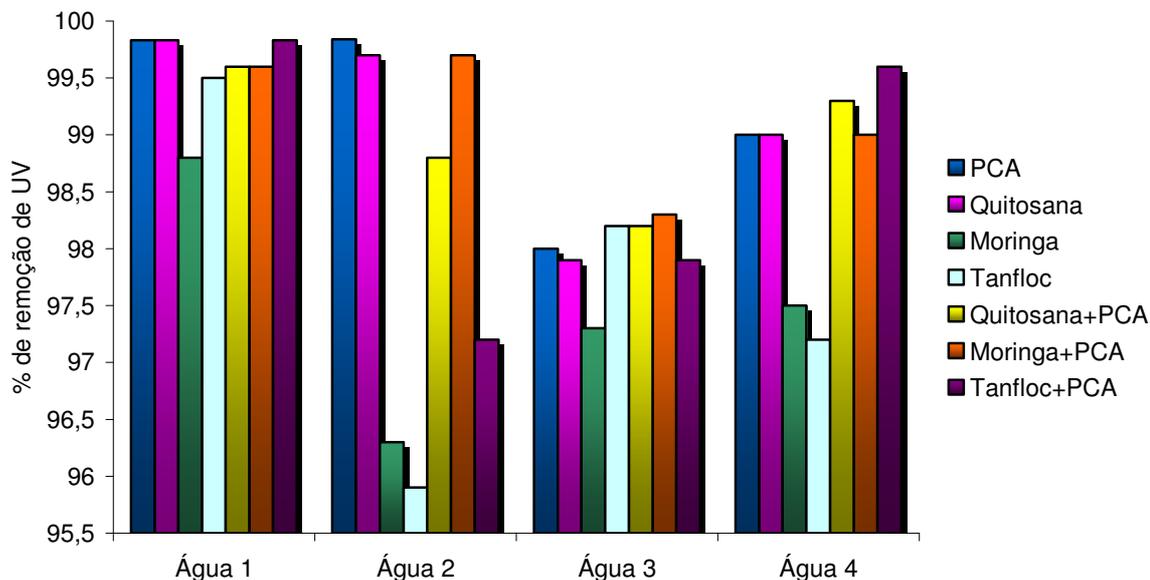


Figura 5.7 – Gráfico com as porcentagens de remoção de compostos de absorção UV na ETA piloto com os diferentes coagulantes.

Observando a Figura 5.5 vê-se que a remoção de cor aparente é superior a 98% para todos os coagulantes usados e para a associação dos coagulantes naturais com o PCA. Observou-se também que quando utilizou-se o coagulante natural associado ao PCA obteve-se uma maior remoção de cor para todos os coagulantes. Sendo que sempre que a Moringa está associada ao PCA há uma melhora significativa na remoção.

No gráfico da Figura 5.6 observa-se que a remoção de turbidez é superior a 98,5% para todos os coagulantes usados e para a associação dos coagulantes naturais com o PCA. Assim como a remoção de cor, a remoção de turbidez foi melhor quando houve o uso dos coagulantes naturais associados ao PCA, no entanto a associação da Quitosana com o PCA foi a que apresentou uma maior remoção quando comparado ao uso da Quitosana isoladamente.

Comparando a remoção de composto de absorção UV, Figura 5.7, pode-se dizer que a associação de coagulantes foi mais efetiva que a utilização dos coagulantes naturais usados isoladamente, e a exemplo da remoção de cor aparente e de turbidez.

Observa-se que a Água 3 apresentou uma menor porcentagem de remoção dos compostos de absorção UV em relação as demais, vale observar que a cor e a turbidez desta água *in natura* eram as menores que as demais, no entanto a concentração dos compostos de absorção UV era elevada.

É válido comentar que a Moringa quando associada ao PCA teve um aumento significativo na porcentagem de remoção de cor aparente, turbidez e compostos de absorção UV.

A Figura 5.8 apresenta um gráfico com as médias das remoções de cor aparente, turbidez, compostos de absorção UV e concentração de alumínio com na ETA.

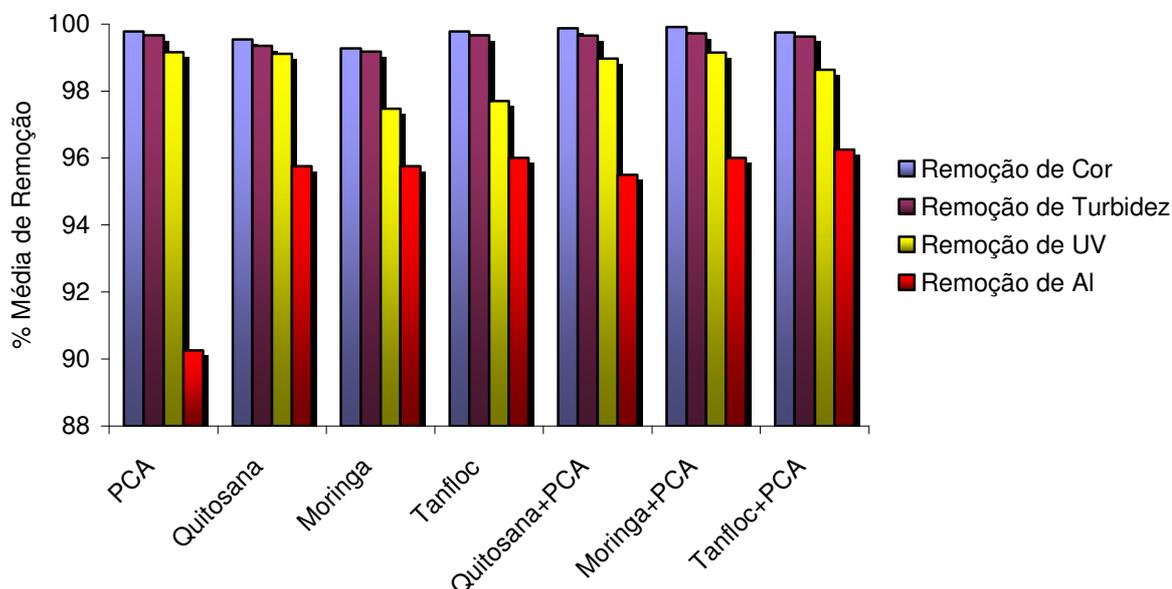


Figura 5.8 – Gráfico com as porcentagens médias de remoção de cor, turbidez, compostos de absorção UV e concentração de alumínio na ETA piloto com os diferentes coagulantes usados.

Na Figura 5.8 pode-se observar que todos os coagulantes e as associações entre eles tiveram uma remoção superior a 98% na cor e na turbidez quando usados para tratar a água de alta cor e turbidez, observa-se também que a remoção de compostos de absorção UV é superior a 97% e que a menor redução da concentração de alumínio foi em média 90% quando utilizou-se o PCA.

É válido comentar que a remoção de ferro foi superior a 99% em todos os ensaios.

5.3 – LODO FORMADO NA ETA

A Tabela 5.33 apresenta as concentrações de metais presentes no lodo formado na ETA piloto.

Tabela 5.33 – Concentração de metais do lodo formado na ETA piloto

Parâmetro	PCA	Q	M	T	Q+PCA	M+PCA	T+PCA
Prata (mgL^{-1})	0,002	0,000	0,002	0,001	0,005	0,002	0,000
Alumínio (mgL^{-1})	256,23	62,43	59,89	75,22	121,18	113,98	132,18
Bário (mgL^{-1})	0,028	0,031	0,026	0,027	0,031	0,037	0,027
Cádmio (mgL^{-1})	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cromo (mgL^{-1})	0,047	0,030	0,032	0,020	0,035	0,046	0,023

Cobre (mgL ⁻¹)	0,040	0,010	-	0,010	0,010	0,030	0,020
Ferro (mgL ⁻¹)	300,91	156,38	128,45	111,78	206,54	199,89	211,35
Manganês (mgL ⁻¹)	0,102	0,095	0,091	0,086	0,110	0,099	0,089
Sódio (mgL ⁻¹)	0,182	0,094	0,091	0,085	0,168	0,168	0,165
Níquel (mgL ⁻¹)	0,036	0,024	0,026	0,019	0,026	0,032	0,032
Cobalto (mgL ⁻¹)	0,027	0,021	0,021	0,013	0,025	0,026	0,025
Cálcio (mgL ⁻¹)	0,321	0,134	0,201	0,124	0,298	0,301	0,234
Chumbo (mgL ⁻¹)	0,002	-	-	0,001	0,001	0,002	0,001
Zinco (mgL ⁻¹)	0,129	0,017	0,078	0,071	0,081	0,051	0,091

Q - QUITOSANA, M - MORINGA, T - TANFLOC, Q+PCA - QUITOSANA ASSOCIADA AO PCA, M+PCA - MORINGA ASSOCIADA AO PCA, T+PCA - TANFLOC ASSOCIADO AO PCA.

Observando as concentrações dos metais presentes no lodo na Tabela 5.33 pôde-se constatar que o lodo gerado pelo tratamento com o coagulante químico PCA apresentou maior quantidade de metais do que quando foram utilizados os coagulantes naturais, as concentrações de alumínio foram consideravelmente maiores quando houve a associação dos coagulantes naturais com o coagulante químico, a concentração de alumínio e ferro foram notavelmente superiores quando o coagulante em estudo era o PCA.

A Tabela 5.34 apresenta as quantidades de lodos formados nos ensaios na ETA piloto com os diferentes coagulantes.

Tabela 5.34 – Quantidade de lodo formado na ETA piloto

	Água de Baixa Cor e Turbidez	Água de Alta Cor e Turbidez
PCA	30mL/L	50mL/L
Quitosana	12mL/L	15mL/L
Moringa	8mL/L	10mL/L
Tanfloc	14mL/L	17mL/L
Quitosana+PCA	18mL/L	23mL/L
Moringa+PCA	21mL/L	18mL/L
Tanfloc+PCA	33mL/L	30mL/L

Na Tabela 5.34 pode-se visualizar que os coagulantes naturais formam uma menor quantidade de lodo durante o processo de obtenção de água potável, dentre os coagulantes estudados a Moringa é o que forma a menor quantidade de lodo. É importante ressaltar que os volume de lodo formado pela associação do coagulante natural com o PCA, é maior que o volume gerado quando se usa os coagulantes naturais isoladamente, no entanto é menor que quando o coagulante químico PCA é usado isoladamente.

5.3.1 – BIODEGRADABILIDADE DO LODO FORMADO NA ETA

Alguns resultados preliminares do estudo da biodegradabilidade do lodo formado na ETA piloto estão aqui apresentados. A Figura 5.9 apresenta o gráfico de biodegradabilidade do lodo

formado na ETA piloto com os coagulantes químicos, Sulfato de Alumínio e PCA, e com os coagulantes naturais, Moringa e Quitosana, a partir de uma água de baixa turbidez.

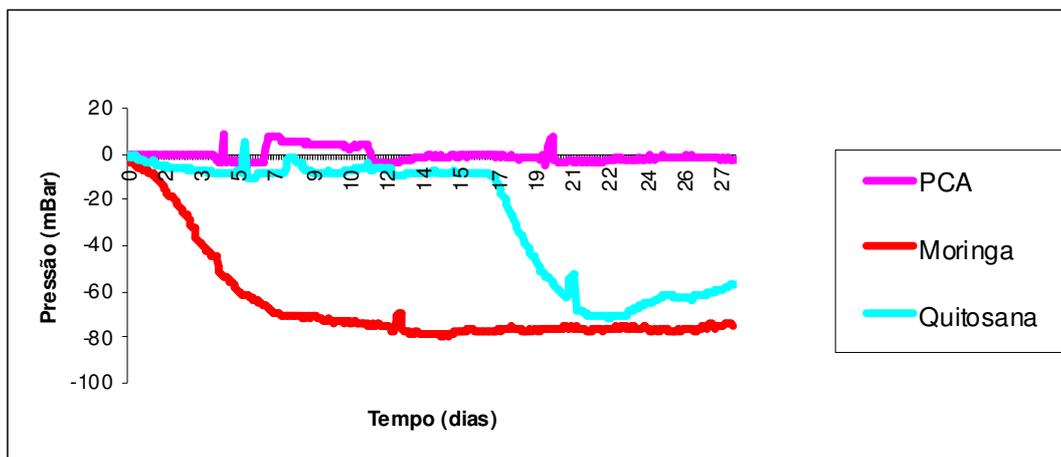


Figura 5.9 – Gráfico da biodegradabilidade do lodo formado pela coagulação da água de baixa turbidez utilizando os coagulantes Moringa *oleifera*, Quitosana, PCA e Sulfato de alumínio.

Observando o gráfico da Figura 5.9 pode-se constatar que os coagulantes naturais Moringa e Quitosana são biodegradáveis ao passo que os coagulante químicos Sulfato de Alumínio e PCA não apresentaram biodegradabilidade.

A Figura 5.10 apresenta o gráfico da biodegradabilidade dos lodos formados na ETA piloto pela coagulação de uma água de alta cor e turbidez utilizando os coagulantes PCA, quitosana, Moringa e Tanfloc.

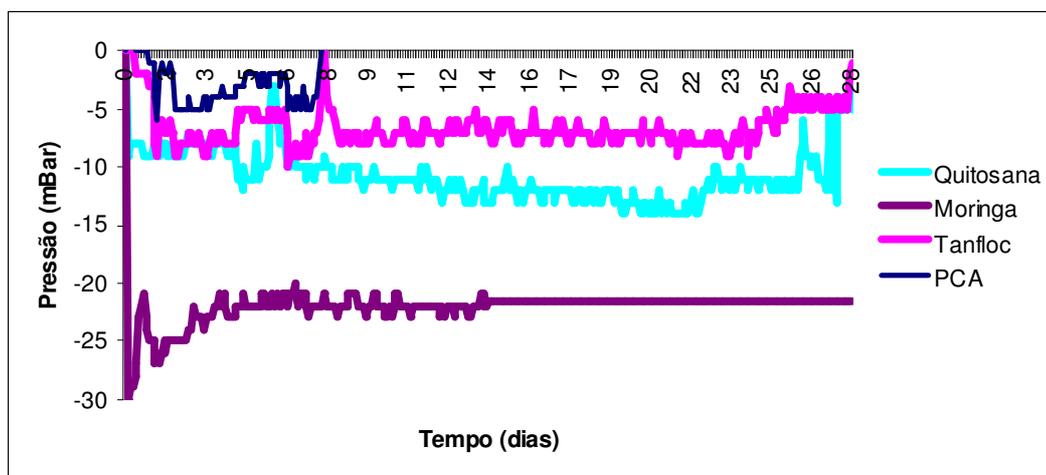


Figura 5.10 – Gráfico da biodegradabilidade do lodo formado pela coagulação da água de alta cor e turbidez utilizando os coagulantes PCA, Quitosana, Moringa e Tanfloc.

Observa-se na Figura 5.10 que em águas de alta turbidez assim como nas águas de baixa turbidez os coagulantes naturais apresentaram biodegradabilidade, enquanto o coagulante químico PCA não apresentou biodegradabilidade.

Foram realizados testes cromatográficos com os gases formados durante o ensaio de biodegradabilidade, a Tabela 5.35 apresenta a porcentagem dos gases que foram formados.

Tabela 5.35 – Porcentagem de gases formado durante os ensaios de biodegradabilidade

	% CO ₂	% CH ₄	% Ar
PCA	1,45	5,04	83,41
Quitosana	1,07	6,33	92,60
Moringa	2,15	0,77	97,08
Tanfloc	0,44	0,29	99,28

Nota-se que o lodo formado pela coagulação com a Quitosana formou um maior volume de metano em comparação com os demais, em relação a formação de CO₂ o lodo gerado pela coagulação com a Moringa foi o que produziu um maior volume. É relevante citar que o lodo gerado pela coagulação com o Tanfloc formou menor porcentagem de gases em relação aos demais.

Os cromatogramas estão apresentados nos anexos de 5 a 9, sendo o anexo 5 os padrões utilizados para comparação.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Verificou-se na realização deste trabalho que os coagulantes naturais foram eficientes no tratamento da água na estação piloto, observando-se que as remoções de cor, turbidez e compostos de absorção UV foram superiores a 90% em todos os ensaios. Entretanto algumas amostras não atenderam a legislação (Portaria, 518/2004 do Ministério da Saúde).

É válido ressaltar ainda que quando houve associação entre os coagulantes naturais e o coagulante químico PCA, as porcentagens de remoção foram superiores às dos coagulantes naturais usados isoladamente, na maioria dos ensaios. Resaltando que em relação a concentração de Alumínio residual na água foi inferior a apresentada quando o PCA foi utilizado isoladamente.

Em relação à Quitosana observou-se que sua melhor atuação foi apresentada em águas de alta cor e turbidez, assim como a associação desta com o coagulante químico PCA. Sendo as remoções superiores a 97%.

A Moringa, assim como a Quitosana, foi mais eficiente em águas de alta turbidez. Dentre os coagulantes naturais utilizados isoladamente observou-se que a Moringa foi o que apresentou menor eficiência, no entanto quando houve a associação desta com o coagulante químico PCA as remoções aumentaram consideravelmente.

O Tanfloc ao contrário dos demais coagulantes naturais não apresentou melhor resultado em relação a remoção de cor, turbidez e compostos de absorção UV, quando foi utilizado em associação ao PCA. Contudo a remoção de metais foi superior quando houve a associação do tanfloc com o PCA em relação a utilização do PCA isoladamente.

De maneira geral, os coagulantes naturais apresentaram bons resultados tanto utilizados isoladamente, quanto utilizados associados ao PCA.

Nas estação de tratamento de água a correção do pH é uma prática comum, observou-se nesse trabalho que utilizando-se os coagulantes naturais também será necessária a correção, observando-se que todos os ensaios resultaram em pH abaixo da faixa estipulada pela legislação, mais ácido, inclusive o PCA, durante a realização do trabalho isso não foi feito.

A quantidade de lodo gerado no processo com a utilização dos coagulantes naturais foi menor que quando comparada a utilização do PCA. Quando houve a associação o volume de lodo formado foi inferior ao do PCA isoladamente, no entanto superior ao dos coagulantes naturais isoladamente. O coagulante que gerou o menor volume de lodo foi a Moringa.

A concentração de metais, principalmente o Alumínio e o Ferro, foi inferior nos lodos formados pelos coagulantes naturais, e superior no lodo gerado pelo PCA. O lodo gerado pela coagulação/floculação com a Moringa apresentou menor concentração de Alumínio, e a menor concentração de Ferro foi observada quando se utilizou a Quitosana.

Os testes preliminares de biodegradabilidade mostraram que o lodo formado pelos coagulantes naturais são biodegradáveis, enquanto o lodo gerado pela coagulação com o PCA não apresenta características de biodegradabilidade.

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C.V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro : RIMA, ABES, 2001.
- AZEVEDO NETTO, J.M. et al. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. 3. ed.v. 1. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
- BARLOW, M.; CLARKE, T. "Ouro azul: como as grandes corporações estão se apoderando da água doce do nosso planeta", São Paulo: M. Books do Brasil, 2003.
- BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. "Problemática dos Metais nos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água." In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária**, 21., 2001, João Pessoa. *Anais*. João Pessoa: ABES, 2001. CD-ROM.
- BERGAMASCO, R., **Apostila sobre as características físicas, químicas e microbiológicas da água**, Maringá – Paraná, 2006.
- BEZERRA, A. M. E.; MOMENTÉ, V. G. & MEDEIROS FILHO, S. "Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato." **Hortic. Bras.** vol. 22, no.2, Brasília Abril-Junho/2004.
- BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da moringa oleifera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa. 2001.
- BRAGA, R. **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional**, 1ªed., Rio Claro, UNESP, 2003.
- BROTERO, P.; "Casca de Camarão vira Xampu e Pele Artificial". **Folha de São Paulo**, São Paulo, 08 de março, 1991.
- CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**, 1ªed. PROSAB, ABES, Vitória, 2003.
- CARDOSO, K. C. **Estudo do processo de coagulação-floculação por meio da moringa oleifera LAM para obtenção de água potável**, Dissertação de M.Sc., Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2007.

- CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**, Dissertação de M.Sc., Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, 2008.
- CLAYTON, B. E. "Report of the lowermoor incident advisory group." J. Ind. Med. DoE, London, v. 40, n. 3, p. 301 – 304, 1989.
- COLLINS, C.H.; BRAGA, G.L., BONATO, P.S. **Introdução a métodos cromatográficos**. Campinas; Editora Unicamp, 6ª edição, 1997.
- CORDEIRO, J.S. **O problema dos lodos gerados nos decantadores em Estações de Tratamento de Água**. Tese D.Sc., Hidráulica e Saneamento Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos, SP. Junho, 1993.
- CORREA, M Pereira. **Dicionário das Plantas Úteis do Brasil e das Exóticas Cultivadas**. Volume V. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal: Rio de Janeiro, 1984.
- CURI, T. H. L., **Utilização da quitosana no tratamento físico-químico da água residuárias do processamento de café solúvel**. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Paraná – UFPR, 1995.
- DANIEL, L. A. **Processo de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**, 1ª ed. Rio de Janeiro, 2001.
- DAVINO, F. **Tecnologia de Tratamento de Água – Água na Indústria**. Rio de Janeiro: Almeida Neves., 1976.
- DE ABREU E LIMA, Guilherme Júlio Muller e outros. **Uso de Polímeros Naturais, Mutamba e Cacau como Auxiliares de Flocculação**. Dissertação de M.Sc. Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT, Cuiabá. Mato Grosso, 1998.
- DI BERNARDO, L (1993). **Métodos e técnicas de tratamento de água**. v. 1. Rio de Janeiro: ABES.
- DI BERNARDO, L.; CARVALHO, E.H.; SCALIZE, P.S. **Disposição de Resíduos Líquidos em ETAs em ETEs**. In: **Noções Gerais de Tratamento e Disposição Final de Lodos de Estações de Tratamento de Água**. Prosab, 1999a.
- DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.S., HELLER, L., **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Prosab, 1999b.
- DI BERNARDO, L.; CENTURIONE FILHO, P. L. "Coagulação, flocculação e flotação para remoção de algas." In: **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Seguro, 2000.

- DI BERNARDO, L.; PÁDUA, V. L.; DI BERNARDO A. S. "Desenvolvimento de instalações de laboratório para determinação da dosagem de coagulante na filtração direta". In: **Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Seguro, 2000.
- DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed.v. 1. São Carlos: RiMa. 2005.
- DIVAKARAN, R.; PILLAI, V. N. S. "Flocculation of river silt using chitosan". **Water Research**, 36, 9, 2414-2418, 2002.
- DUTRA C., **Avaliação do potencial de actinomicetos no trabalho de efluentes de Indústrias que processam madeira** - Dissertação de M.Sc. - Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro -1997.
- EJEF: **Série Estudos Jurídicos: Direito Ambiental** - n. 1 - Belo Horizonte, Tribunal de Justiça do Estado de Minas Gerais, Escola Judicial Des. Edésio Fernandes, 2004.
- FUNASA, Manual prático de análise de água. 1ª ed. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.
- GERDES, G. **Como Limpar e Tratar Água Suja com Sementes da *Moringa oleifera***. ESPLAR, Fortaleza, 1997.
- GRAHAM, N., GANG, F., FOWLER, G., WATTS, M., "Characterisation and coagulation performance of a tannin-based cationic polymer: A preliminary assessment", In: *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* v.327 p.9–16, 2008.
- GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. "Desidratação de Lodos Produzidos em Estações de Tratamento de Água." In: **Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária e Ambiental**, 17., 1993, Natal. *Anais...* Natal: ABES, 1993. v.2, p. 324-341.
- GUERRA, R.C., ANGELIS, D.F.D, "Classificação e biodegradação de lodo de estações de tratamento de água para descarte em aterro Sanitário." In:**Arquivo do Instituto Biológico**, São Paulo, v.72, n.1, p.87-91, jan./mar., 2005
- HEPPE, A.; "Chitosan usage in the European textile industry." In: **Melliand English**, n.1-2, p. 16, 2002.
- HUANG, C.; CHEN, Y. (1996). "Coagulation of Colloidal Particles in Water by Chitosan". In: **J. Chem. Tech. Biotechnol.**, p. 227-232.
- JAHN, S.A.A. "Monitored water coagulation with Moringa seeds in village households." In: **GTZ: Gate**. Eschborn, n. 1, p. 40-41, 1989.
- JIANG, J. Q., GRAHAM, N. J. D., "Pre-polymerised inorganic coagulants and phosphorus removal by coagulation - A review." In: **Water SA** v.24 No. 3 July 1998.

- KALOGO, Y.; M'BASSINGUIÈ SÈKA, A.; VERSTRAETE, W. Enhancing the start-up of a UASB reactor treating domestic wastewater by adding a water extract of *Moringa oleifera* seeds. **Applied Microbiology Biotechnology**, v.55, p.644-651, 2001.
- KAWAMURA, S. "Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment." **JAWWA**, 79, 6, 88-91, Japão, 1991.
- KAWAMURA, Y., MITSUHASHI, M., TANIBE, H., "Adsorção de metal ions on polyaminated highly porous chitosan chelating resin." **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 32, n.2, pp. 386-391, Japão, 1993.
- KIMURA, I. Y. **Remoção de corantes reativos contendo grupos vinilsulfona e triazina por adsorção e coagulação/floculação com quitosana**. Tese D.Sc., Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC Florianópolis, 2001.
- KLOPOTEK, A. D.; WLAASIUKY, D.; KLOPOTEK, B. B., 1994, "Compounds based on chitosan as coagulants and flocculants." **Proc. International Conference on Chitin and Chitosan**, Gdynia, Polônia, 1994.
- KLUG, M.; "Análise de Isotermas de Adsorção de Cu(II), Cd(II), e Zn(II) pela N-(3,4-dihidroxibenzil) quitosana Empregando o Método de Regressão não Linear." **Química Nova**. v 21, n 4, julho/1998.
- LEIKNES, T.; ODEGAARD, H.; MYKLEBUST, H.; "Removal of natural organic matter (NOM) in drinking water treatment by coagulation–microfiltration using metal membranes". **Journal of Membrane Science**, v 242, p.47–55, 2004.
- LONGHINOTTI, E. **Adsorção dos corantes azul de metileno, alaranjado G, alaranjado IV e alaranjado xilenol pelo biopolímero quitina**. Dissertação de M.Sc., Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina –UFSC, Florianópolis, SC, 1996.
- MAKKAR H. P. S. "Protein precipitation methods for quantitation of tannins: A review". **J. Agric. Food Chem.** 37, p1197-1202, 1989.
- MARTINE, G.; **População, Meio ambiente e Desenvolvimento: verdades e contradições**. Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 1996.
- MATHUR, N. K.; NARANG, K.C. "Chitin and chitosan, versatile polysaccharides from marine animals." **J. Chem. Educ.**, 67, 11, 938, 1990.
- McLACHLAN, C. R. D., "Aluminium and the risk for Alzheimer Disease." **Environ.**, V.6, 233–275, 1995.
- MEHTA, R.D.; COMBS, R.; Coverage of Immature Cotton Neps in Dyed Fabric Using Chitosan Aftertreatment." **American Dyestuff Reporter**. v. 86, n. 7, p. 43-45, 1997

- MONTEIRO, J.O.A. **Preparação, modificação química e calorimetria do biopolímero quitosana**. Tese de D.Sc., Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2000
- MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**, Dissertação M.Sc. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. 2004.
- MORAES, L. C. K. Utilização do polímero natural quitosana no processo de coagulação/floculação/ultrafiltração para a produção de água potável" In: **21º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005, Campo Grande, MS.
- MORAES, L. C. K. **Estudo dos processos de coagulação e floculação seguido de filtração com membranas para obtenção de água potável**, Dissertação D.Sc. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, 2009.
- MORGADO, A. F., **Águas naturais**, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. 1999. Disponível em: <<http://lema.enq.ufsc.br/Arquivos/AGUAS%20NATURAIS.htm>>.
- MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 1 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. 1997.
- MUYIBI, S.A.; EVISON, L. M., "Moringa Oleifera seeds for softening hardwater", In: *War. Res.* v. 29, Nº. 4, pp. 1099-1105, 1995.
- NBR 10.004 - **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 10.004** de setembro de 1987. Dispõe sobre a definição e classificação de resíduos sólidos.
- NETTO *et al.*, **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**. 2ª ed., v. 2., cap. 19, São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. 1976.
- NETO, M. A. A., 2005, **Uso da Semente do Gênero *Moringa***. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/doc/posters/12_1_Mario_Augusto.doc>.
- OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M., "Improvement of extraction method of coagulation active components from Moringa Oleifera seed." In: *Wat. Res.* V. 33, Nº. 15, pp. 3373±3378, 1999
- OLSEN, A. Low technology water purification by bentonite clay and *Moringa oleifera* seeds flocculation as performed in Sudanese villages: effect on *Schistosoma mansoni* cercarie. **Water Research**, v. 21, p.517-522, 1987.
- PAN *et al.*, "Evaluation of modified chitosan for coagulation of colloidal particles. Colloids and Surfaces" In: **Physicochemical and Engineering Aspects**, 147, 359-364, 1999.

- PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** Dissertação de M.Sc., Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2001.
- PORTARIA Nº 518/GM MINISTÉRIO DA SAÚDE. (2004). Em 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Ministério da Saúde. 2004.
- RADEMACHER, J.J.; YOUNG, T.B.; KANAREK, M.S. "Gastric cancer mortality and nitrate levels in Wisconsin drinking water." In: *Health Archiv. Environ*, v. 47, p 292-296, 1992.
- RAMOS, R. O., **Clarificação de água com turbidez baixa e moderada utilizando sementes de *Moringa oleifera*** Dissertação de M.Sc., Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2005.
- REIS, J.L.R.; **Estudo de biodegradabilidade do efluente da indústria de borracha**, Dissertação de M.Sc., PEQ/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1999.
- REUSCHENBACH, P.; PAGGA, U.; STROTMANN, U. "A critical comparison of respirometric biodegradation tests based on OECD 301 and related test methods." In: *Water Research*, V.37, (7), p. 1571-1582, 2003.
- RIBEIRO, F. L. "Estudo das águas residuárias da ETA de Itabirito – MG: Caracterização e alternativas de tratamento e reutilização." In: **II Seminário sobre Tecnologias Limpas**, ABES-RS, 2007.
- RICHTER, C. A. **Tratamento de lodos de estações de tratamento de água.** Editora Edgar Blucher, 1ª edição, São Paulo, 2001
- RITCHER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água – tecnologia atualizada**, São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1991.
- ROUSSY, J., VAN VOOREN, M., DEMPSEY, B.A., GUIBAL, E., "Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions." In: *Water Research*, V. 39 (14), 3247–3258, 2005
- SANTOS, E. P. C. C., AVELINO, F. F., PÁDUA, V. L., "Teste de diferentes tipos de coagulantes em escala de bancada", In: **AIDIS; Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.** Asunción, Paraguay, p.1-7, 2005.

- SARON, A.; LEITE, V. M. B. "Quantificação de Lodo em Estação de Tratamento de Água". In: **21º Congresso Brasileiro De Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2001, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.
- SILVA, T. S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e esgoto**. Dissertação de M.Sc., Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro. 1999.
- SILVA, A. P. da; BIDONE, F. R. A.; MARQUES, D. M. L da M. "Avaliação da Lixiviação de Alumínio e da Produção de Ácidos Graxos Voláteis em Reatores Anaeróbios Utilizados para Estudar a Disposição Final de Lodos de ETAs em Aterros Sanitários". In: **XXVII Congresso Interamericano De Engenharia Sanitária**, , 2000, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: AIDIS, 2000. 1 CD-ROM.
- SILVA, C. A., 2005, **Estudos Aplicados ao Uso da *Moringa oleifera* como Coagulante Natural para Melhoria da Qualidade de Águas**. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
- SILVA, F. J. A.; DE SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. N., 2003, "Uso Potencial de Biopolímeros De Origem Vegetal Na Descolorização De Efluente Têxtil Índigo". In: **22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Joinville, SC, Setembro.
- SOARES, S. R. A., BERNARDES, R. S., CORDEIRO NETO, O. M., "Relações entre Saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento" In: **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.18 p.1713-1724, 2002
- SPINELLI, V. A. **Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável**. Dissertação de M. Sc, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, Santa Catarina. 2001a.
- SPINELLI, V. A., 2001b "Quitosana: polieletrólito natural para o tratamento de água potável." In: **21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, João Pessoa, PB.
- SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. (2005). "Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium chloride and bagasse fly ash." **Colloids and Surfaces** 260, 0. 17-28.
- TANAC, **Manual Prático para Uso em Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento**. 1ª Ed. Editora Montenegro, 2003.
- TODOROVIC, Z. **Avaliação da viscosidade e massa molar de quitosanas modificadas enzimaticamente**. Dissertação de M.Sc. Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2002.

TSUTUYA, M. T.; HIRATA, A. Y. "Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo". In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 21., 2001, João Pessoa. *Anais...* João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **Noções Sobre Tratamento de Água**. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam00.htm>>.

VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada, 1992. 2ªed.

VIANNA, M. R. **Introdução ao tratamento de água**. Belo Horizonte: Instituto de Engenharia Aplicada, 1996. 2ªed.

ZHOU, Y., XING, X., LIU Z., CUI, L., YU, A., FENG, Q., YANG, H., "Enhanced coagulation of ferric chloride aided by tannic acid for phosphorus removal from wastewater" In: **Chemosphere** v.72 p. 290–298, 2008.

WELTROWSKI, M.; MASRI, M.S.; **U.S.patent** 5; 501, 711, 1996

YOSHIDA, H.; NISHIHARA, H. e KATAOKA, T.; "Adsorption of BSA on Strongly Basic Chitosan: Equilibria". **Biotechnology and Bioengineering**, v 43, n 11, p. 1087-1093, 1994.

Sites:

www.polymer.com.br/quitosana site acessado em 18/05/2009

www.quimica.ufpr.br/eduquim/pdf/experimento6.pdf site acessado em 18/05/2009

www.dtflotflux.com.br site acessado em 18/05/2009

ANEXOS

Anexo 1

COLIFORMES FECAIS E ESCHERICHIA COLI

(Kit 3M, 1995)

Metodologia:

Determinação de coliformes e *Escherichia coli* através Kit 3M Petrifilm Placa.

Condições de operação:

- Kit 3M Petrifilm Placa para contagem de Coliformes e *Escherichia coli*
- Câmara de ar com Ultra Violeta (UV)
- Solução de álcool 70%
- Estufa aerada 35oC

Procedimento:

Armazenamento e Descarte:

Guardar os pacotes fechados de placas a $\leq 8^{\circ}\text{C}$. Deixe que os pacotes atinjam a temperatura ambiente antes de abri-los. Coloque as placas não utilizadas novamente no pacote. Não refrigere os pacotes que tiverem sido abertos para evitar que fiquem expostos à umidade. Guardar os pacotes novamente lacrados em um lugar seco e fresco por um período de tempo não superior a um mês.

Ajuste de pH da amostra:

Para as amostras ácidas o pH da amostra diluída deverá ser ajustadas para 6,6- 7,2 com NaOH 1N. Para amostras alcalinas ajustar o pH com HCl 1N. Homogeneíze a amostra.

Esterilização do material:

Lavar a placa e o material a ser utilizado com uma solução de Álcool 70%, deixar secar por 15 minutos na Câmara de ar com UV não esquecer de lavar a câmara com a mesma solução.

Plaqueamento:

Coloque a placa em uma superfície plana. Levante o filme superior e coloque 1mL de amostra ou da diluída no centro do filme. Abaixar o filme superior sobre a amostra de modo a evitar a formação de bolhas de ar. Posicione o difusor plástico no centro da placa, com o lado liso voltado para baixo. Distribua a amostra uniforme pressionando levemente o centro do difusor plástico. Não arraste o difusor sobre o filme. Remova o difusor e não toque na placa durante pelo menos 2 minutos para

deixar o gel solidificar. Incube as placas horizontalmente com o lado transparente para cima em pilhas de até placas. A incubadora deverá estar umidificada.

Incubação:

Incube as placas a 35oC por 48 horas.

Interpretação:

Podem ser contadas em contador de colônias comum. Não numere as colônias presentes na espuma, pois elas não estão sob a ação dos agentes de seletividade do meio. Não enumere bolhas de ar artificiais. Em geral, colônias de *E. coli* são azuis ou vermelho azuladas com gás associados próximo às colônias (distância equivalente ao tamanho de uma colônia). Colônias de coliformes são vermelhas com gás associado próximo às colônias. Enumere as colônias azuis a vermelho-azulados associadas com gás, individualmente de seu tamanho, como *E. coli* confirmado. Colônias azuis sem gás não são enumeradas como *E. coli*.

Colônias de outros coliformes são vermelhas associadas com gás. Colônias não associadas com gás (distância até a bolha de gás superior ao diâmetro da colônia) não são enumeradas como coliformes. A contagem de coliformes totais corresponde ao total de colônias azuis e vermelhas associados com gás em 24 horas. Reincube as placas por mais 24 horas para detectar novas colônias de *E. coli*. Independente do tempo de incubação, sempre que surgir uma colônia azul associada com gás, ela deve ser considerada *E. coli* confirmado.

Anexo 2

SÓLIDOS

(APHA, 1998)

Procedimento para Determinação dos Sólidos Totais, Fixos e Voláteis:

Tarar uma cápsula de porcelana limpa e seca, colocando-a na mufla por 30 minutos, esfriar em dessecador e pesar (P1).

Adicionar à cápsula um volume conhecido de amostra previamente homogeneizada.

Levar a cápsula a estufa à 100oC, até secagem completa (cerca de 12 horas).

Esfriar em dessecador e pesar (P2).

Levar a cápsula à mufla (550oC) por duas horas. Esfriar em dessecador e pesar (P3).

Cálculos:

$$ST(mg / L) = \frac{(P_2 - P_1) \times 1.000.000}{V_A}$$

$$SF(mg / L) = \frac{(P_3 - P_1) \times 1.000.000}{V_A}$$

$$SV(mg / L) = \frac{(P_2 - P_3) \times 1.000.000}{V_A}$$

Em que, VA é o volume da amostra (mL).

Procedimento para Determinação dos Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis:

Colocar um disco de papel de fibra de vidro no aparelho de sucção com a bomba de vácuo ligada, lavando o filtro com 3 sucessivos volumes de 20mL de água destilada.

Remover toda a água com a aplicação de vácuo.

Retirar o papel de filtro de fibra de vidro do aparelho e levar à estufa por uma hora e após, à mufla a 550oC por 30 minutos. Deixar no dessecador até resfriamento total.

Análise de Sólidos Suspensos Totais:

Pesar o papel de fibra de vidro preparado acima, obtendo-se P1 (g). Agitar a amostra e tomar 10mL em uma proveta graduada e filtrar. Remover cuidadosamente o papel com o resíduo retido. Levar à estufa a 105-110oC durante 12 horas, ou até peso constante. Esfriar no dessecador e pesar, obtendo P2 (g).

Para calcular os sólidos suspensos totais utiliza-se a fórmula

$$SST(\text{mg} / \text{L}) = \frac{(P_2 - P_1) \times 1.000.000}{V_A}$$

Em que, VA: volume da amostra (mL).

Análise de Sólidos Suspensos Fixos e Voláteis:

Levar o papel com o resíduo à mufla a 550oC por 1 hora. Deixar em seguida no dessecador até esfriamento total, pesar, obtendo-se P3 (g).

As equações para se determinar os sólidos suspensos fixos e voláteis são, respectivamente:

$$SSF(\text{mg} / \text{L}) = \frac{(P_3 - P_1) \times 1.000.000}{V_A}$$

$$SSV(\text{mg} / \text{L}) = \frac{(P_2 - P_3) \times 1.000.000}{V_A}$$

Em que, VA é o volume da amostra (mL).

A metodologia para determinação dos sólidos dissolvidos é análoga à metodologia para a determinação dos sólidos suspensos, sendo que os sólidos dissolvidos são determinados pela amostra filtrada que passou pelo papel de filtro para a determinação dos sólidos suspensos.

Os sólidos totais podem ser determinados pelas seguintes equações:

- Sólidos Totais (ST) = Sólidos Suspensos (SS) + Sólidos Dissolvidos (SD)
- Sólidos Totais Fixos (STF) = Sólidos Suspensos Fixos (SDF) + Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF)
- Sólidos Totais Voláteis (STV) = Sólidos Suspensos Voláteis (SDV) + Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)

Anexo 3

ALCALINIDADE E ACIDEZ VOLÁTIL

(SILVA, 1977)

Centrifugue uma amostra, a 2500rpm, durante 5 minutos até obter uma quantidade de aproximadamente 70 a 100 mL de sobrenadante. Filtre o sobrenadante em um papel de filtro qualitativo, recolhendo o filtrado em uma proveta graduada.

Após, coloque o filtrado em um béquer. Meça o pH da amostra e titule com H₂SO₄ 0,02N até pH 4,0. O volume gasto na titulação é utilizado para calcular a alcalinidade total em CaCO₃, com a seguinte equação.

$$\text{Alcalinidade (mg CaCO}_3\text{/L ou Kg)} = \frac{V_a \times N \times 50.000}{\text{amostra}}$$

Em que,

V_a: Volume de ácido sulfúrico gasto na titulação (mL);

N: Normalidade do ácido sulfúrico;

Amostra: Quantidade de amostra (mL ou g).

Adicionar H₂SO₄ 0,02N até o pH 3,5 a 3,3. Coloque o béquer sobre uma tela de amianto e aqueça levemente (para eliminar o CO₂ formado na reação) em ebulição por exatamente 3 minutos. Esfrie em um banho de água até a temperatura ambiente.

Com NaOH 0,1N eleve o pH da solução para 4,0. Anote a leitura da bureta.

Complete a titulação até pH 7,0. A acidez volátil será calculada com a fórmula abaixo.

$$\text{Acidez volátil (mg CH}_3\text{COOH /L ou Kg)} = \frac{V_b \times N \times 60.000}{\text{amostra}}$$

Em que,

V_b: Volume de hidróxido de sódio gasto na titulação (mL);

N: Normalidade do hidróxido de sódio;

Amostra: Quantidade de amostra (mL ou g).

Anexo 4

DETERMINAÇÃO DE METAIS POR ESPECTOFOTOMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA EM ÁGUAS BRUTA E TRATADA

Metodologia:

Determinação de metais por espectrofotometria de absorção atômica em águas bruta e tratada.

Materiais, Reagentes e Equipamentos:

- Água destilada;
- Água deionizada;
- HCl: Ácido Clorídrico;
- HNO₃: Ácido Nítrico;
- Becker de 250ml;
- Vidro relógio;
- Chapa de aquecimento;
- Papel de filtro quantitativo de faixa azul (porosidade de 8micros);
- Balão volumétrico de 50ml.

Procedimento:

Preparo da mistura para extração:

Preparar uma solução de proporção de:

5,148ml de H₂O : 5ml de HCl : 1,852ml de HNO₃

Utilizar 12ml desta solução para cada 100ml de amostra.

Utilizando 250ml de amostra, usar 30ml de solução digestora.

Procedimento:

Adicionar 250ml de amostra em um becker de 250ml. Se o volume de amostra precisar se diferente, anotar o volume. Acrescentar a solução digestora no volume proporcional ao volume de amostra. Cobrir com vidro relógio com a extremidade voltada para cima.

Levar à chapa de aquecimento a temperatura de 100 a 150 °C e deixar reduzir o volume até aproximadamente 30ml. Durante a noite, deixar a chapa entre 80 e 100 °C.

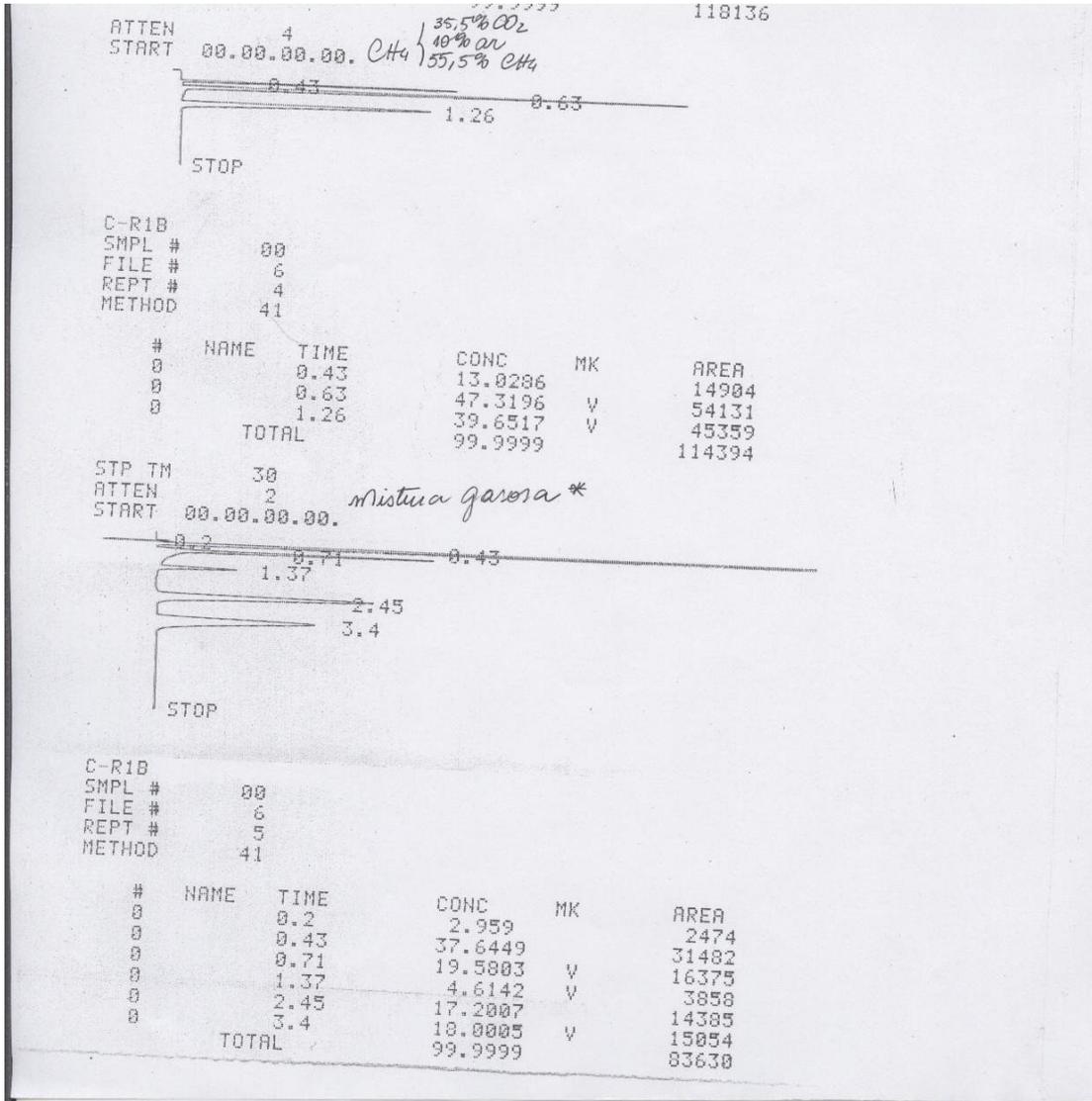
Após retirar da chapa, filtrar em papel de filtro quantitativo de faixa azul (porosidade 8micros), transferindo o extrato para um balão volumétrico de 50ml com jatos de água deionizada aquecida. Completar o volume com água deionizada.

Preparar paralelamente uma prova em branco contendo água deionizada (250ml).

Anexo 5

CROMATOGRAMAS

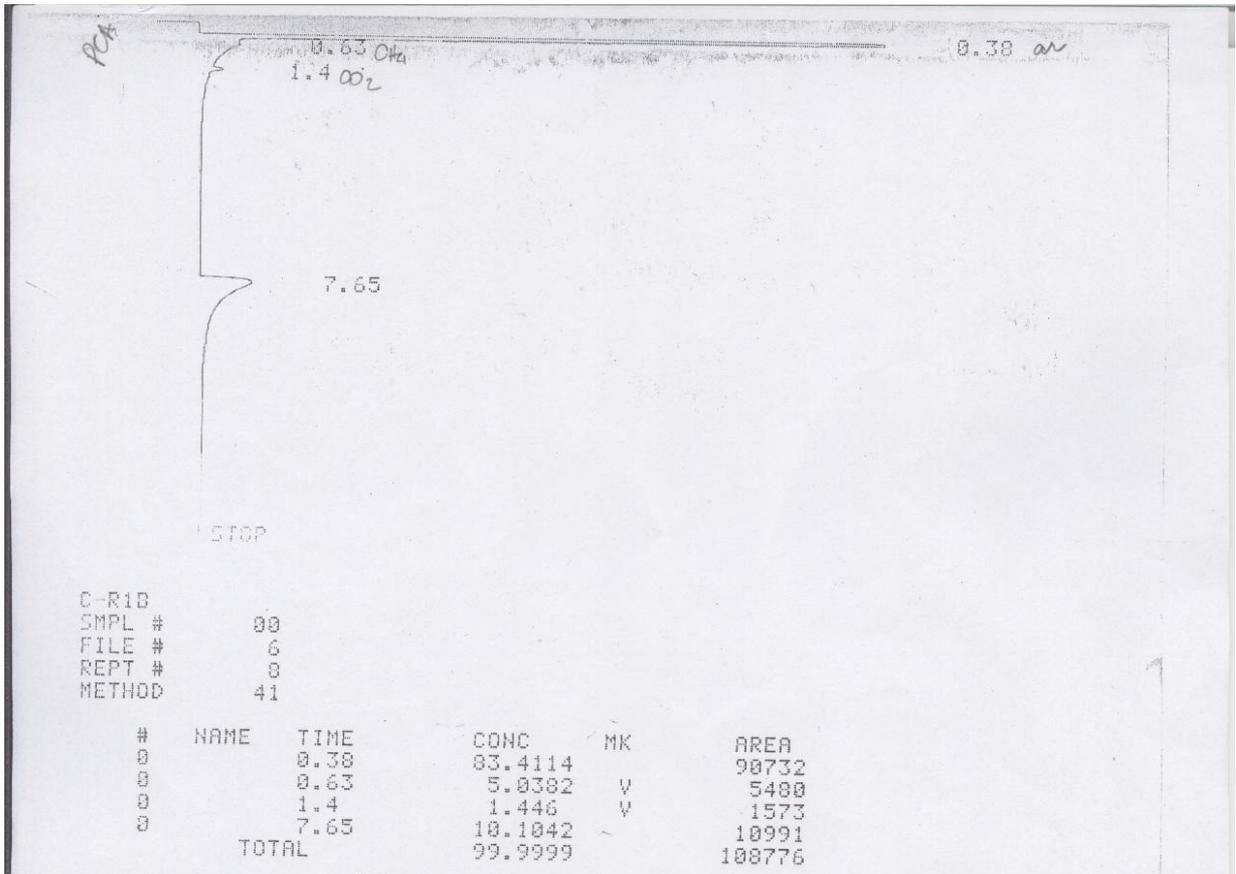
- PADRÕES



Anexo 6

CROMATOGRAMAS

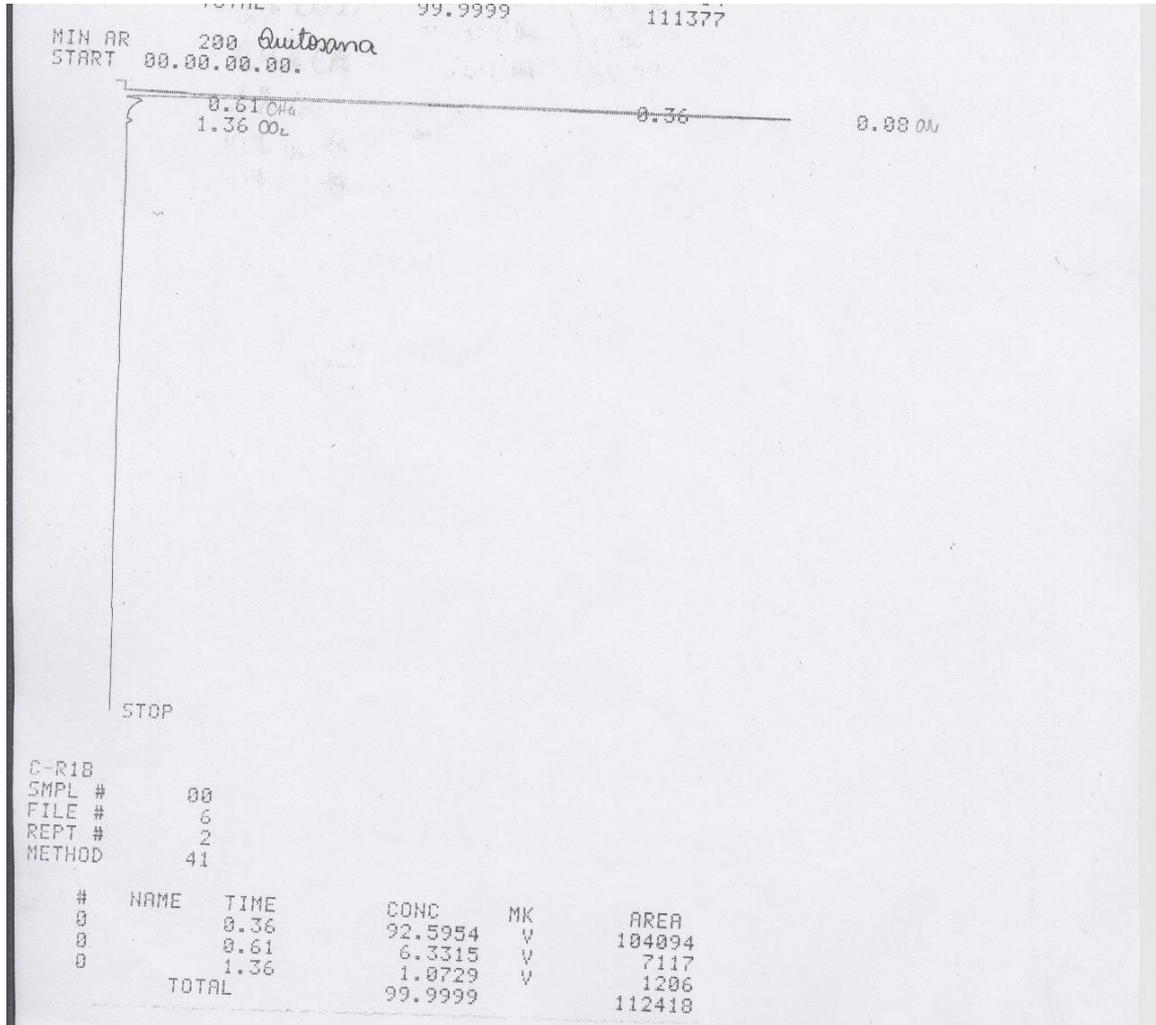
- AMOSTRAS (LODO GERADO PELO PCA)



Anexo 7

CROMATOGRAMAS

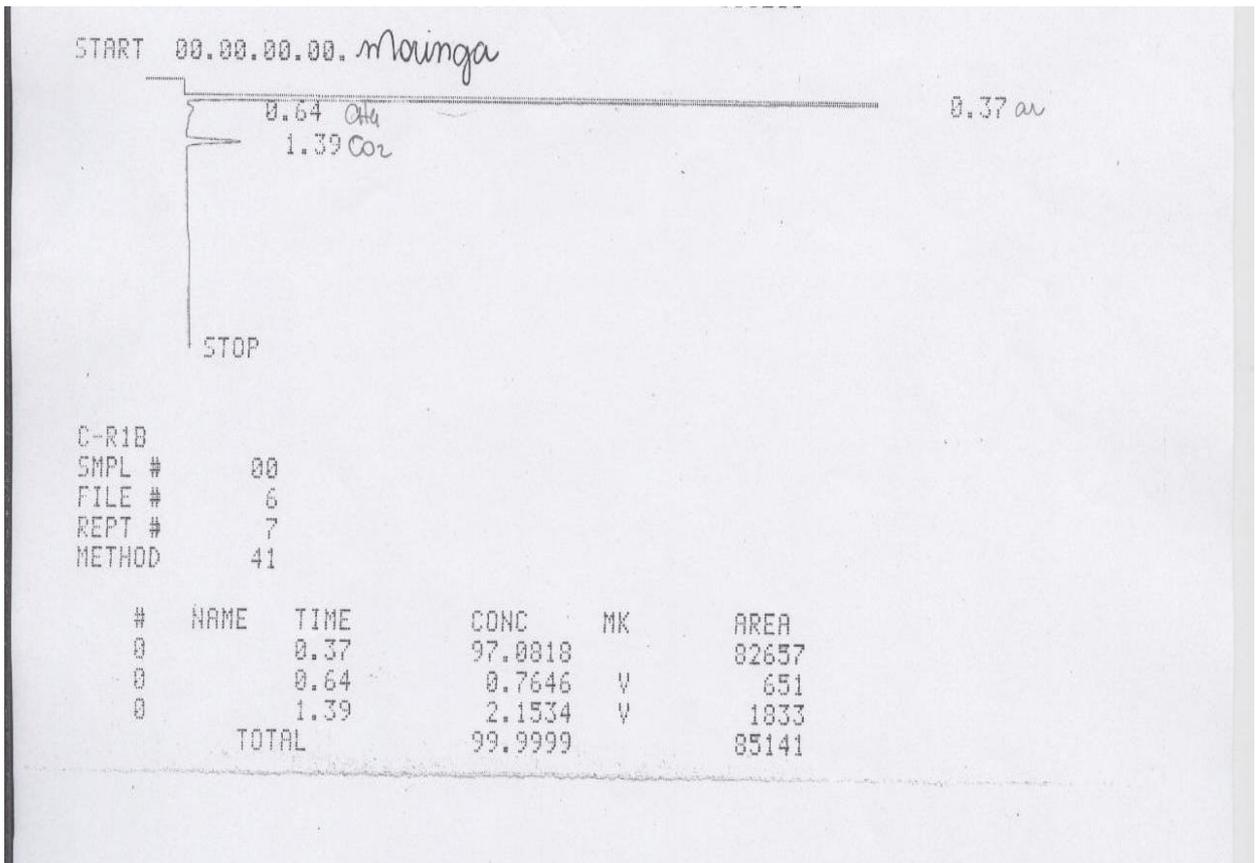
- AMOSTRAS(LODO GERADO PELA QUITOSANA)



Anexo 8

CROMATOGRAMAS

- AMOSTRAS (LODO GERADO PELA MORINGA)



Anexo 9

CROMATOGRAMAS

AMOSTRAS (LODO GERADO PELO TANFLOC)

