



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Análise comparativa entre coagulante orgânico a base de tanino, o Tanfloc SL e o coagulante a base de alumínio (Policloreto de Alumínio) no tratamento de água

Stephania Cilia Duarte de Assis Clementino

Orientador: Antônio Helvécio Tótola

Ouro Branco,

Junho/ 2016

Análise comparativa entre coagulante orgânico a base de tanino, o Tanfloc SL e o coagulante a base de alumínio (Policloreto de Alumínio) no tratamento de água

Stephania Cilia Duarte de Assis Clementino

Trabalho de conclusão de curso apresentado em cumprimento às exigências do curso de Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos da Universidade Federal de São João del Rei.

Orientador: Antônio Helvécio Tótola

Ouro Branco,

Junho/ 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Análise comparativa entre coagulante orgânico a base de tanino, o Tanfloc SL e o coagulante a base de alumínio (Policloreto de Alumínio) no tratamento de água

Stephania Cilia Duarte de Assis Clementino

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Nome 1 – Orientador

Nome 2 – examinador 1

Nome 3 – examinador 2

Ouro Branco, ____/____/2016

*“Tu eras também uma pequena folha
que tremia no meu peito.
O vento da vida pôs-te ali.
A princípio não te vi: não soube
que ias comigo,
até que as tuas raízes
atravessaram o meu peito,
se uniram aos fios do meu sangue,
falaram pela minha boca,
floresceram comigo.”*

Pablo Neruda

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha mãe pela raça, dedicação e o apoio constante em minha vida. Sem ela, nenhuma página deste trabalho seria escrita. E ao meu padrasto, pela atenção e companheirismo diários;

Á Fernanda, pela presença em todos os instantes da minha vida, pelo amor e pelas conversas intermináveis;

Ao meu Tio Vavá e minha Avó Francisca por não medirem esforços e pela ajuda nesta fase que concluo;

Á minha família que sempre me auxilia nos aprendizados mundanos e na convivência com o próximo;

Ao Joubert, pelo seu amor, dedicação, paciência e por todas as vezes que me aconselhou sem tentar me convencer, sem pré-julgamentos, despertando minha essência no mundo;

Ao Tótola, pelo exemplo de homem e professor que se tornou pra mim, por me ensinar imunologia antes de ter cursado bioquímica básica, por acreditar em mim para trabalhar ao seu lado no laboratório, pelo conhecimento compartilhado e por me transmitir calma em momentos desesperadores;

Ao Edson, pela ajuda incessante na graduação, pelo carinho, pelas conversas e pela amizade que levarei vida a fora;

Ao Boutros, pela força que demonstra como professor e pelos conselhos verdadeiros;

Ao Eduardo Sarquis, pelas ótimas conversas, pela alegria contagiante, pelo carinho e pelo exemplo de ser humano que é, me acrescentando valores essenciais;

Aos meus amigos que o CAP-UFSJ me permitiu conhecer, conviver e me apaixonar. Contribuindo de forma ímpar para o meu crescimento pessoal e profissional. Vocês são sensacionais!

Ao SAAE – Viçosa pela oportunidade. Aos operadores de ETA pela ajuda constante na realização deste trabalho e principalmente, ao Henrique, pela paciência, estímulo e auxílio diários;

E por fim, a todos aqueles que mantiveram meu copo cheio durante a graduação; seja café, cerveja, chá; o estímulo merece todas as honrarias;

Resumo

A água presente na natureza geralmente necessita passar por processos físicos e químicos para se tornar potável para o consumo humano. Nestes processos, a etapa de coagulação em uma estação de tratamento de água (ETA) exerce papel fundamental no que se diz respeito à qualidade da água, uma vez que pode vir a comprometer as etapas sequenciais do processo, caso seja realizada inadequadamente. As ETAs que usam sais de ferro ou de alumínio como coagulantes geram um lodo com elevadas concentrações de metais pesados em sua composição, dificultando a sua disposição final. Uma alternativa aos coagulantes inorgânicos a base de alumínio e ferro seria o uso de coagulantes orgânicos, que tem como vantagem a não toxicidade, a biodegradabilidade e a redução da concentração de metais pesados no lodo gerado durante o tratamento. O presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho do coagulante orgânico a base de tanino, o Tanfloc SL no tratamento de água da ETA I – SAAE localizada no município de Viçosa – Minas Gerais, e comparar os resultados obtidos àqueles obtidos com o coagulante a base de alumínio, o PAC – Policloreto de alumínio, utilizado atualmente na respectiva ETA. Os ensaios em escala de laboratório foram realizados em aparelho denominado *JarTest*, a fim de se obter as mesmas condições de mistura rápida e de floculação utilizados na ETA. Como os resultados determinados nos ensaios de *JarTest* foram considerados compatíveis com os da literatura, realizou-se um teste na ETA para avaliar o comportamento do reagente orgânico diretamente no processo, nas etapas de coagulação, floculação e decantação. Durante o período de teste do Tanfloc SL na ETA adotou-se a dosagem média de 20 mg/L, obtendo-se uma turbidez final média de 0,1 uT. Foram levantados os custos de aquisição dos produtos para as condições de coagulação selecionadas no estudo, e concluiu-se que o Tanfloc SL se torna mais viável que o PAC. Os resultados obtidos indicam um grande potencial do uso do coagulante Tanfloc SL no tratamento de água, principalmente levando-se em consideração os benefícios ambientais da geração de lodo sem quantidades expressivas de alumínio.

Palavras Chave: Água, Tratamento de Água, Tanfloc SL, Coagulação.

Sumário

1. Introdução.....	12
2. Objetivos	13
2.1. Objetivo geral	13
2.2. Objetivos específicos	13
3. Revisão da Literatura	14
3.1. Aspectos Gerais Sobre a Qualidade da Água para Consumo	14
3.2. Legislação Brasileira sobre o Tratamento e Qualidade da água para consumo	16
3.3. Estação de Tratamento de Água	17
3.3.1. Coagulação/ Floculação	18
3.3.2. Decantação	19
3.3.3. Filtração	19
3.3.4. Desinfecção.....	20
3.4. Mecanismos de Coagulação e Floculação	20
3.5. Coagulantes	24
3.5.1. Coagulantes Inorgânicos	24
3.5.2. Coagulantes Orgânicos	25
3.5.3. Coagulantes em estudo	26
4. Material e Métodos.....	28
4.1. Teste no Laboratório.....	28
4.2. Ensaio com o Policloreto de Alumínio	29
4.3. Ensaio com o Tanfloc SL.....	30
4.4. Teste na Estação de Tratamento de Água.....	30
5. Resultados e Discussão	34
5.1. Caracterização da Água Bruta	34
5.2. Ensaio no <i>JarTest</i>	34
5.3. Ensaio na Estação de Tratamento de Água	40
6. Conclusões	46
7. Referências Bibliográficas	46

Lista de Figuras

Figura 3.1. Ilustração esquemática das etapas do tratamento convencional da água (BASTOS et al., 2007).....	17
Figura 3.2. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação por compressão da camada difusa (adaptado de RAVINA, 1993).....	21
Figura 3.3. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação por adsorção de neutralização de cargas (KEMIRA, 2003 apud LIMA, 2007).....	22
Figura 3.4. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação pelo mecanismo de varredura (RAVINA, 1993).....	22
Figura 3.5. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação pelo mecanismo de adsorção e formação de pontes (METCALF e EDDY, 1999 apud LIMA, 2007).....	23
Figura 3.6. A <i>Acácia mearnsi</i> , popularmente conhecida como Acácia Negra (fonte: www.viveiroipe.com).....	26
Figura 3.7. Principal monômero da classe dos taninos extraídos da casca da Acácia Negra (adaptado de MANGRICH et al., 2014).....	27
Figura 3.8. Estrutura química do Tanfloc (TANAC).....	28
Figura 4.1. Equipamento <i>JarTest</i> utilizado para avaliar o processo de coagulação/floculação.....	29
Figura 4.2. Etapas do Tratamento de Água da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.....	30
Figura 4.3. Vista Geral da Estação de Tratamento de Água I – SAAE – Viçosa/Minas Gerais.....	31
Figura 4.4. (a) Ponto de captação de água no Ribeirão São Bartolomeu para a ETA I. (b) Vista geral do ponto de captação.....	31
Figura 4.5. Calha Parshall da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.....	32
Figura 4.6. Tanque de Floculação da ETA I- SAAE de Viçosa/MG.....	32
Figura 4.7. Tanque de Decantação da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.....	32
Figura 4.8. Sistema de filtração da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.....	33

Figura 5.1. Valores de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante Policloreto de Alumínio.....	36
Figura 5.2. Valores de redução do parâmetro turbidez com o uso do coagulante Tanfloc SL.....	36
Figura 5.3. Valores de redução do parâmetro cor com o uso do coagulante Policloreto de Alumínio.....	37
Figura 5.4. Valores de redução do parâmetro cor com o uso do coagulante Tanfloc SL.....	38
Figura 5.5. Influência da concentração do coagulante Policloreto de Alumínio na alteração do pH.....	39
Figura 5.6. Influência da concentração do coagulante Tanfloc SL na alteração do pH.....	39
Figura 5.7. Diferença entre os flocos formados na ETA pelos Coagulantes Tanfloc SL e Policloreto de Alumínio.....	42
Figura 5.8. Valores de cloro residual obtidos na ETA no dia 24/02/2016, para avaliação do Policloreto de Alumínio (até 10h00min) e do Tanfloc SL (12h00min às 22h00min).....	44

Lista de Tabelas

Tabela 3.1. Valores estabelecidos como parâmetros pela Portaria 2914/2011 para avaliar a qualidade da água destinada ao consumo utilizados nesse estudo.....	17
Tabela 5.1 – Caracterização da água bruta.....	34
Tabela 5.2. Resultados do ensaio <i>JarTest</i> utilizando diferentes concentrações do PAC.....	35
Tabela 5.3. Resultados do ensaio <i>JarTest</i> utilizando diferentes concentrações do Tanfloc SL.....	35
Tabela 5.4. Condições e resultados encontrados no teste, em escala da ETA, para avaliação do Policloreto de Alumínio (até 10h00min) e do Tanfloc SL (12h00min às 22h00min).....	41
Tabela 5.5. Resultados dos valores de Cloro Residual encontrados no teste, em escala da ETA, para avaliação do Policloreto de Alumínio (até 10h00min) e do Tanfloc SL (12h00min às 22h00min).....	43
Tabela 5.6. Custos unitários de mercado dos coagulantes para uso na ETA I - SAAE de Viçosa/MG.....	45
Tabela 5.7. Custos mensais de mercado dos coagulantes investigados para uso na ETA I – SAAE de Viçosa/MG.....	45

1. Introdução

A água é de total importância à qualquer organismo vivo, entretanto, devido ao aumento populacional e, conseqüentemente a industrialização, a redução do nível de mananciais subterrâneos e superficiais vem sendo cada vez mais acelerada, fazendo com que novos processos e tecnologias sejam essenciais para que haja água de qualidade para o consumo humano (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

No Brasil, apesar da abundância de água doce, observamos a escassez de recursos hídricos em algumas regiões e o aproveitamento inadequado desses recursos. Com isso, as estações de tratamento de água e de efluentes, possuem como papel principal a remoção do material particulado suspenso que confere a água características de cor, turbidez e o carregamento de contaminantes orgânicos e inorgânicos, garantindo uma adequabilidade à água para um determinado fim (CARVALHO, 2005).

No melhoramento da qualidade da água em uma estação de tratamento de água (ETA), faz-se necessário a aceleração do processo de sedimentação dos particulados. Para que este processo ocorra de maneira eficaz, é preciso obter uma otimização das etapas de coagulação, floculação e decantação, sendo essencial para a qualidade da água filtrada produzida. No território brasileiro, os procedimentos e as responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo e seu padrão de potabilidade estão estabelecidos através da Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Para o processo de coagulação/floculação os agentes utilizados podem ser de origem inorgânica ou orgânica. Dentre os coagulantes de origem orgânica, têm-se os polímeros orgânicos sintéticos e polímeros naturais. Os principais agentes utilizados são sais coagulantes à base de ferro ou alumínio, porém esses coagulantes não são biodegradáveis e geram muito lodo contendo o metal, tornando-se um problema para os sistemas de tratamento (PIANTÁ, 2008; PAVANELLI, 2001).

Segundo Carvalho (2008), uma alternativa para minimizar problemas nas estações de tratamento de águas é substituir o uso de polímeros inorgânicos, como os sais de alumínio, por polímeros orgânicos. Estes são biodegradáveis, não tóxicos e geram um lodo com menor teor de metais, podendo esse lodo ser destinado a outros fins, como o uso agrícola, sem apresentar riscos.

Dentre os coagulantes orgânicos naturais no tratamento de água, destacam-se os derivados de tanino. Piantá (2008), Heller e Pádua (2010), entre outros pesquisadores relataram casos de sucesso deste coagulante na remoção de metais, redução da toxicidade da água e atuação em ampla faixa de pH. Vale ressaltar a importância de novas pesquisas com os coagulantes/floculantes de origem vegetal, mostrando que estes são capazes de realizar o tratamento da água, proporcionando uma eficiência igual ou maior a dos coagulantes inorgânicos; visando tanto o ponto de vista econômico quanto o ambiental e à saúde da população (CORAL, 2009).

O estudo proposto neste trabalho foi desenvolvido no intuito de avaliar o uso dos taninos no tratamento de água, através de uma comparação com o coagulante inorgânico usado na Estação de Tratamento de Água I – SAAE/Viçosa – MG, o Policloreto de alumínio (PAC), com o coagulante orgânico de origem vegetal, Tanfloc SL.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

O presente estudo teve como objetivo geral avaliar e comparar a eficiência de coagulantes/floculantes orgânicos e inorgânicos utilizados no tratamento da água superficial do Ribeirão São Bartolomeu, localizado em Viçosa - Minas Gerais, para a obtenção de uma água tratada de acordo com os padrões de potabilidade da portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o potencial de coagulação do Policloreto de Alumínio (PAC) e do Tanfloc SL, em escala de laboratório, para a obtenção das condições ideais de dosagem para posterior teste na ETA I;
- Avaliar a eficiência do processo de remoção de impurezas com o emprego de coagulantes orgânicos de origem vegetal de acordo com a legislação vigente;
- Comparar a eficiência de um coagulante orgânico com a de um coagulante inorgânico, analisando parâmetros físicos e químicos;
- Avaliar o custo do tratamento na estação utilizando o Tanfloc SL e o PAC.

3. Revisão da Literatura

3.1. Aspectos Gerais Sobre a Qualidade da Água para Consumo

O Brasil é um país privilegiado com relação à disponibilidade de água, detém 53% do manancial de água doce disponível na América do Sul e possui o maior rio do planeta – Rio Amazonas. Os climas equatorial, tropical e subtropical que atuam sobre o território, proporcionam elevados índices pluviométricos. Entretanto, mesmo com grande disponibilidade de recursos hídricos, o país sofre com a escassez de água potável em alguns lugares. A água doce disponível em território brasileiro está irregularmente distribuída sendo que, aproximadamente 72% dos mananciais estão presentes na região Amazônica, restando 27% na região Centro-Sul e apenas 1% na região Nordeste do país (ARAÚJO, 2010).

Deste modo, a disponibilidade da água vem diminuindo cada vez mais, sendo que alguns países e regiões brasileiras, já enfrentam a sua escassez. Este fato deve-se principalmente à poluição da água utilizada para consumo humano e animal. Esta situação provoca um desequilíbrio na cadeia alimentar, consistindo num ato prejudicial à saúde dos seres vivos, demonstrando a grande importância de preservação deste recurso (CARDOSO, 2011).

A água é um recurso natural essencial ao metabolismo dos seres vivos e de fundamental importância na manutenção da vida. Por suas características como excelente solvente, torna possível todos os processos biológicos, além de possibilitar o transporte de nutrientes e produtos residuais (LEHNINGER *et al.*, 2006). Devido a este fato, a água incorpora diversas impurezas que definem sua qualidade, como microrganismos, substâncias e compostos prejudiciais à saúde. Os fatores que interferem em sua qualidade são, portanto, as condições naturais tais como escoamento superficial e infiltração no solo, resultantes da precipitação atmosférica, e a interferência de seres humanos, como a geração de despejos domésticos, industriais e agrícolas (VON SPERLING, 1996; COLDEBELLA *et al.*; 2013).

O grau de pureza absoluto da água não indica a qualidade da água, mas sim as características físico-químicas e biológicas da mesma. Cada recurso hídrico apresenta diferentes substâncias que irão caracterizar as condições da água para sua determinada utilização, definindo assim, os parâmetros de qualidade da água. Mesmo que visualmente não apresente indicações de contaminação, não se pode assegurar sua qualidade física, química e microbiológica. Deste

modo, as impurezas contidas na água devem ter sua concentração reduzida ou eliminada para o abastecimento público (COLDEBELLA et al; 2013; CERETTA, 2004).

Segundo Libânio (2010), as características químicas, físicas e biológicas da água, resultantes dos processos que ocorrem na bacia hidrográfica e no corpo hídrico, devem ser conhecidas para que se inicie o tratamento da água. Das variáveis físicas tem-se cor, turbidez, temperatura, sólidos totais, sabor e odor. Os principais parâmetros químicos são pH, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), alcalinidade, acidez, dureza, teores de ferro e manganês, cloretos, nitrogênio e fósforo. Das variáveis microbiológicas têm-se a presença de algas, bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos (CETESB, 2015).

Dentre as características físicas, devido aos objetivos do presente trabalho, é relevante comentar sobre a cor e a turbidez. O parâmetro cor, na avaliação da qualidade da água, está associado ao grau de redução da intensidade que a luz sofre ao atravessar um corpo d'água, devido à presença de sólidos dissolvidos, de origem orgânica e inorgânica (CERETTA, 2004).

De modo geral, a cor nas águas naturais é decorrente da presença de matéria orgânica originada da decomposição de plantas e animais, denominada substância húmica (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Existem também os compostos inorgânicos como óxidos de ferro e manganês que podem gerar a coloração da água. Durante os testes de qualidade da água deve-se distinguir entre cor aparente e cor verdadeira. A cor verdadeira é definida como a cor que a água apresenta após a remoção da turbidez presente na mesma. Já a cor aparente seria aquela que inclui não somente as substâncias que estão dissolvidas na água, mas também as que estão em suspensão. A determinação da intensidade da cor da água é medida em unidades de cor (uC) ou unidade de Hazen (uH) (GASPAROTTO, 2011).

O outro parâmetro físico de avaliação da qualidade da água é a turbidez. Esta é a expressão da propriedade óptica que gera o espalhamento e a absorção da luz decorrente da presença de substâncias em suspensão, ou seja, de sólidos suspensos finamente divididos ou em estado coloidal e de organismos microscópicos presentes nas amostras de água. O aparelho utilizado para medição da turbidez, o turbidímetro ou nefelômetro, compara o espalhamento de um feixe de luz ao passar por uma amostra, sob condições definidas, com o de um feixe ao passar por uma suspensão padrão nas mesmas condições. Assim, quanto maior este espalhamento

maior é a turbidez que é, portanto, expressa em unidades nefelométricas de turbidez (NTU) ou em unidades de turbidez (uT) (CARDOSO, 2011).

Para Heller e Pádua (2010), a turbidez da água a ser tratada possui grande importância, pois ela é considerada um dos principais parâmetros para a seleção de tecnologia de tratamento e controle operacional dos processos de tratamento. Segundo Macedo (2007), todas as impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem para a carga de sólidos presentes nos recursos hídricos e conseqüentemente, nos valores de turbidez.

Outros fatores que interferem na escolha do tipo de processo a ser usado no tratamento são as características químicas da água (HELLER e PÁDUA, 2010). Dentre as características existentes, para o trabalho é relevante comentar sobre o potencial hidrogeniônico (pH). Este, segundo Moraes (2007) é utilizado para determinar a concentração de íons de hidrogênio na água e, a partir disso, indicar se a água apresenta condições ácidas, alcalinas ou neutras. O pH é considerado um parâmetro importante, na etapa de coagulação e precipitação de elementos químicos tóxicos, como metais pesados (CETESB, 2015). Além disso, nos sistemas de abastecimento, águas que possuem pH com características ácidas tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais e paredes de concreto, enquanto que as águas que tenham características alcalinas tendem a formar incrustações (LIBÂNIO, 2010).

3.2. Legislação Brasileira sobre o Tratamento e Qualidade da água para consumo

A respeito dos procedimentos de controle da água e o seu padrão de potabilidade, a Portaria Nº 2.914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde é a que estabelece limites máximos permitidos de diversos parâmetros a serem respeitados na água distribuída em todo o país. Nela também constam os procedimentos e responsabilidades necessárias ao controle e à vigilância da qualidade da água a ser consumida (DI BERNARDO E PAZ, 2008).

De acordo com a Portaria 2914/2011, entende-se por padrão de potabilidade os valores estabelecidos como parâmetros para avaliar a qualidade da água destinada ao consumo humano. A Tabela 3.1 apresenta alguns dos parâmetros utilizados nesse estudo, estabelecidos pela Portaria.

Tabela 3.1. Valores estabelecidos como parâmetros para a água tratada pela Portaria 2.914/2011 para avaliar a qualidade da água destinada ao consumo utilizados nesse estudo.

Parâmetro	Faixa dos Valores Permitidos	Unidade
Cor aparente	≤ 15	uH
Turbidez da água tratada	< 5	uT
pH	6 – 9,5	-
Cloro Residual Livre	0,2- 2	mg/L

Ainda de acordo com a Portaria N° 2914, a verificação da potabilidade é dividida em classes de análises, sendo as mais frequentes as análises físico-químicas e as análises bacteriológicas. Nas análises físico-químicas tem-se a medição da cor aparente, turbidez, pH e cloro residual. As análises bacteriológicas identificam possíveis infestações por microrganismos através de indicadores como *E. coli* e coliformes totais. Essas análises são realizadas diariamente na estação de tratamento de água, garantindo a sanidade da água para a distribuição e consumo.

3.3. Estação de Tratamento de Água

Uma ETA consiste em um conjunto de processos físicos e químicos que ao serem aplicados na água de forma correta, podem fornecer condições adequadas para que a água se torne potável. O tratamento convencional, termo consagrado na literatura, é formado pelas seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (ou usualmente, cloração), conforme a Figura 3.1 (BASTOS et al., 2007).

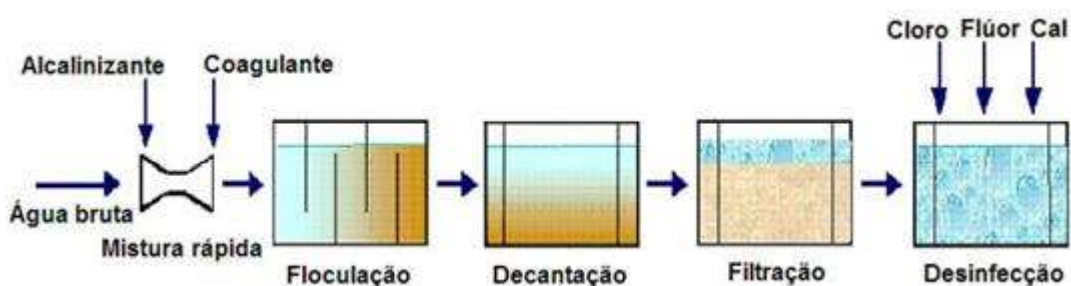


Figura 3.1. Ilustração esquemática das etapas do tratamento convencional da água. (BASTOS et al., 2007).

Para destacar as características do tratamento convencional, facilitando sua visualização, apresenta-se a seguir uma breve descrição de suas etapas.

3.3.1. Coagulação/ Floculação

O processo de coagulação, usado nas estações de tratamento, envolve a aplicação de produtos químicos para a precipitação de compostos em solução e a desestabilização de suspensões coloidais das partículas sólidas, que não poderiam ser removidas por sedimentação ou filtração (RICHTER, 2009). As impurezas não sofrem o processo de decantação natural, pois se repelem umas as outras devido à natureza de suas cargas superficiais negativas, fazendo com que essas partículas permanecem em suspensão estável nas águas por longos períodos de tempo e com baixas velocidades de sedimentação (PAVANELLI, 2001).

Estes produtos químicos, denominados coagulantes, possuem íons de carga contrária às das partículas presentes no efluente. Existem diferentes tipos de coagulantes, podendo ser de origem vegetal ou química, sendo o sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico, exemplos de coagulantes químicos. Alguns exemplos dos coagulantes de origem vegetal que vêm sendo bastante estudados são a *Moringa oleífera*, o Tanfloc e a Quitosana (VAZ et al., 2010).

Com a adição do coagulante, ocorre a eliminação ou a minimização das forças de repulsão eletrostáticas existentes entre os particulados presentes na água, favorecendo a predominância das forças de atração. Desta forma, torna-se possível a aglomeração das partículas -formação de flocos- na etapa de floculação, que acontece após a coagulação. (BASTOS et al., 2007).

A eficiência da coagulação necessita de alcalinidade, que se não presente naturalmente na água deve ser adicionada, conforme a indicação da unidade de mistura rápida na Figura 3.1. Esta depende também de uma boa homogeneização do coagulante na água, o que pode ser alcançado pela introdução do coagulante em local de intensa turbulência da água, indicada na Figura 3.1, pela unidade de mistura rápida (BASTOS et al., 2007).

Após a etapa rápida (coagulação), a etapa de floculação consiste numa mistura lenta da água por um período de tempo adequado, favorecendo o encontro das partículas para que se agreguem, ganhando tamanho e peso, facilitando a separação sólido-líquido, como

sedimentação e/ou filtração (BASTOS et al., 2007). Os flocculantes químicos mais comumente empregados no tratamento de água e efluentes são os sais de ferro, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ e FeCl_3 , ou os sais de alumínio como $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (alumen), WAC (cloro-sulfato de alumínio parcialmente hidrolisado) e o PAC (policloreto de alumínio) (GUEDES et al., 2004). A turbulência empregada na floculação deve ser decrescente, de modo a proporcionar a boa formação dos flocos no início do processo e evitar a ruptura dos flocos formados ao longo do flocculador (BASTOS et al., 2007).

Os parâmetros de controle operacional da coagulação e da floculação são o pH, a dosagem do coagulante, o gradiente de velocidade da mistura (G , em s^{-1}) e o tempo de coagulação (t , em segundos) e floculação, sendo o último denominado tempo de detenção hidráulica no flocculador (t , minutos). Para cada água, incluindo variações sazonais (como chuvas), correspondem condições ótimas de coagulação, as quais devem ser determinadas em ensaios de laboratório - teste de jarros, reproduzindo em escala de bancada as etapas de coagulação, floculação e decantação. (BASTOS et al., 2007).

3.3.2. Decantação

A decantação, ou sedimentação, é um processo físico que separa partículas sólidas em suspensão da água. Esta separação é resultante da diminuição da velocidade de escoamento da água nos decantadores e da ação da força da gravidade sobre as partículas, depositando-as em uma zona de armazenamento (BASTOS et al., 2007).

3.3.3. Filtração

A filtração pode ocorrer por mecanismos físicos, químicos ou biológicos (filtros lentos) para a separação de impurezas em suspensão na água mediante sua passagem por um meio poroso. A areia é o mais comum, seguido do antracito, areia de granada ou carvão ativado granular. O tamanho dos grãos e dos poros tem grande influência na remoção dos flocos em suspensão pelo filtro e no seu desempenho hidráulico (RICHTER, 2009).

Além da clarificação da água, na etapa de filtração tem-se a remoção de microrganismos patogênicos, particularmente de oocistos de protozoários. Em alguns casos, como no de oocistos de *Cryptosporidium*, esta consiste na principal, se não a última barreira de proteção (BASTOS et al., 2007).

A limpeza dos filtros é realizada após certo período de funcionamento, e é geralmente determinada pela quantidade de impurezas no efluente ou dissipação total da carga hidráulica disponível para a operação do filtro. A limpeza é realizada por meio de lavagem com água tratada no sentido ascensional (retrolavagem) e os principais parâmetros de controle são a velocidade ascensional e o tempo de lavagem (BASTOS et al., 2007).

3.3.4. Desinfecção

Após as etapas de clarificação, a desinfecção tem como objetivo a inativação de microrganismos pela aplicação de um agente desinfetante. Os mais empregados são os oxidantes químicos, como cloro, dióxido de cloro e ozônio. Ao escolher o agente desinfetante deve-se levar em consideração alguns fatores, como o potencial desinfetante, potencial de manutenção de residuais desinfetantes, formação de produtos secundários tóxicos, potencial de geração de gosto e odor, custo, complexidade de operação e manutenção (BASTOS et al., 2007).

Os parâmetros de controle da desinfecção consistem na concentração residual do desinfetante e no tempo de contato com a água. Geralmente, encontra-se em ordem crescente de resistência a desinfecção as bactérias, os vírus, os protozoários e os helmintos (praticamente imunes) (BASTOS et al., 2007).

3.4. Mecanismos de Coagulação e Floculação

O mecanismo de coagulação/floculação dos particulados presentes nas águas brutas depende do tipo e da dosagem do coagulante utilizado (SILVA, 2005). Podem ocorrer através do resultado dos mecanismos de compressão da camada difusa; adsorção e neutralização; varredura e adsorção e formação de pontes (ALCANTARA, 2010).

No mecanismo de compressão da camada difusa, ocorre a desestabilização do sistema coloidal, através da introdução de um eletrólito indiferente, ou seja, íons de cargas opostas às das partículas coloidais, permitindo a atração dos íons de cargas diferentes pelos coloides e a repulsão dos íons de carga contrária (ALCANTARA, 2010). Assim, após a adição deste eletrólito ocorrerá um aumento na densidade de cargas na camada difusa e a diminuição da “esfera” de influência das partículas, tendo em vista que para manter neutra a região da camada difusa faz-se necessário diminuir a sua espessura, ocasionando a compressão (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A Figura 3.2 ilustra este processo. Este método não é muito utilizado nos processos de tratamento de água para consumo, mas pode vir a ser aplicado no tratamento de efluentes industriais (RAVINA, 1993).

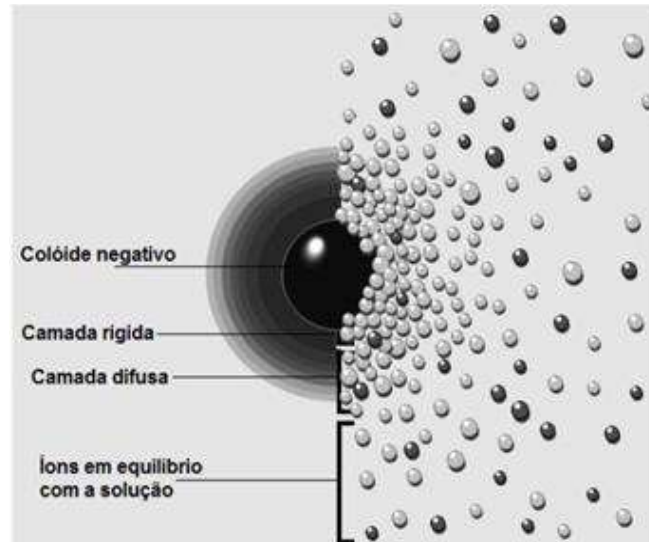


Figura 3.2. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação por compressão da camada difusa (adaptado de RAVINA, 1993).

No mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, os coagulantes adicionados possuem carga contrária à partícula coloidal e se acumulam na superfície da mesma (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). Como o agente de coagulação possui carga diferente, ocorrerá uma neutralização de cargas, diminuindo assim as forças de repulsão e desestabilizando o sistema, conforme ilustrado na Figura 3.3 (CARVALHO, 2005).

Esse mecanismo é bastante utilizado quando ocorre a filtração direta, não existindo a necessidade da produção de flocos para sedimentação ou floculação (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

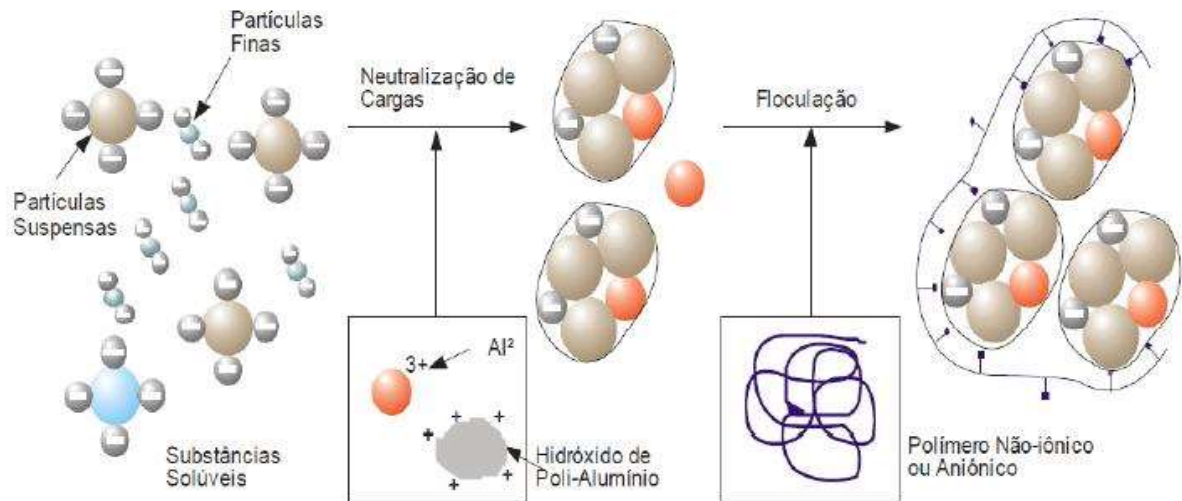


Figura 3.3. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação por adsorção de neutralização de cargas (KEMIRA, 2003 apud LIMA, 2007).

No mecanismo de varredura, tem-se a formação de precipitados que englobam as partículas coloidais, formando aglomerados. Neste, o pH, a quantidade de coagulante adicionado no meios e a concentração de íons presentes em solução, devem ser levados em consideração (CARVALHO, 2005). Neste método, os flocos formados são maiores e de fácil sedimentação ou flotação, conforme ilustrado na Figura 3.4. Sendo assim, esse mecanismo é altamente utilizado em ETAs que possuem as etapas de floculação e sedimentação, anteriores à filtração (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

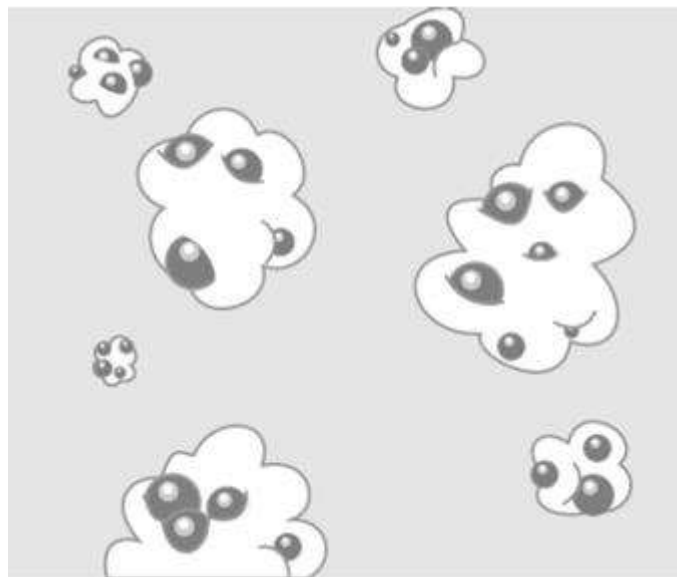


Figura 3.4. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação pelo mecanismo de varredura (RAVINA, 1993).

O mecanismo de adsorção e formação de pontes ocorre quando polímeros orgânicos (sintéticos ou naturais) são utilizados como coagulantes. Assim, a coagulação pode ocorrer por intermédio da formação das pontes químicas - quando as partículas coloidais são adsorvidas na superfície das diversas cadeias dos polímeros (LIBÂNIO, 2010). Existe ainda a possibilidade da outra parte da molécula, em solução, interagir com outras partículas coloidais formando uma ponte entre as mesmas, conforme a Figura 3.5 (VAZ, 2009).

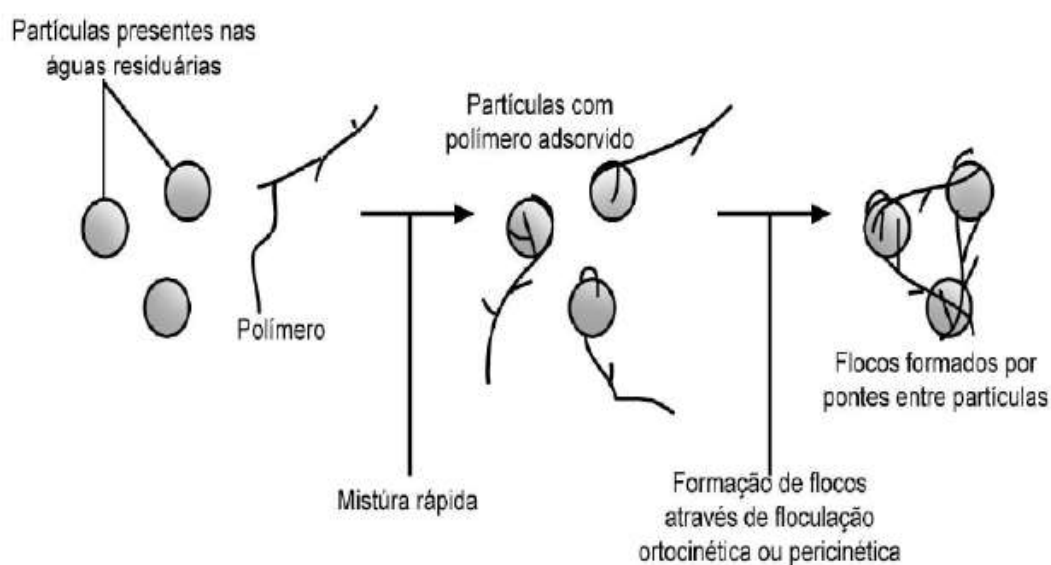


Figura 3.5. Esquema do mecanismo de coagulação/floculação pelo mecanismo de adsorção e formação de pontes (METCALF e EDDY, 1999 apud LIMA, 2007).

Segundo Carvalho (2008), os cátions polivalentes (Al^{+3} , Fe^{+3} , Fe^{+2} , etc.) neutralizam as cargas elétricas das partículas suspensas e os hidróxidos metálicos (Ex: $Al_2(OH)_3$), ao adsorverem os particulados. Isso demonstra que o Policloreto de Alumínio (PAC), atua através do mecanismo de adsorção e neutralização de cargas.

O Tanfloc SL é um polímero orgânico catiônico que atua pelo mecanismo de neutralização de cargas e formação de pontes entre os particulados, sendo este o processo responsável pela formação de flocos e consequente sedimentação (TANAC, 2016).

3.5. Coagulantes

Vários agentes coagulantes são usados nos processos de tratamento de água, como os coagulantes inorgânicos (sais de alumínio e ferro) ou coagulantes orgânicos - sintéticos ou naturais. Uma adequada coagulação permite a economia de produtos químicos e tempo de agitação para a floculação da água (PAVANELLI, 2001).

Dentre os resíduos gerados em uma ETA, os que causam maiores preocupações são a água de lavagem dos filtros e o lodo dos decantadores, visto que estes apresentam as características do coagulante utilizado (VANACÔR e GEHLING, 2007).

3.5.1. Coagulantes Inorgânicos

A escolha de um coagulante leva em consideração alguns principais fatores como o custo, a adequabilidade à água bruta, a tecnologia de tratamento e a preservação dos tanques e dosadores (DEMPSEY, 1984 apud MORAES, 2004). Os coagulantes mais comuns utilizados nos processos de tratamento de água são os inorgânicos: sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico (CARVALHO, 2008).

A coagulação/floculação realizada com sais de alumínio e ferro ocorre em dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações de coagulação com a água, formando espécies hidrolisadas com carga positiva. Esta etapa depende da concentração do metal presente, da temperatura, da quantidade de impurezas e do pH final da mistura. O segundo, de base física, consiste no transporte dessas espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água (BORBA, 2001).

Segundo Borba (2001), o mecanismo de formação dos flocos ocorre por meio da neutralização entre a acidez do coagulante e a alcalinidade da água, que por atração eletrostática entre as cargas positivas resultantes da ionização do coagulante e as cargas negativas das partículas, formam os flocos. Esses são maiores e mais pesados, possuindo assim, a tendência de se precipitarem quando há uma diminuição da velocidade de fluxo da água.

Geralmente, o tratamento de águas superficiais utilizando sais de alumínio produz um volume maior de lodo que outros coagulantes e acentuam a acidez. Tem se ainda que o alumínio dissolvido em água pode produzir efeitos tóxicos nos seres vivos (CARVALHO, 2005). Para

os tratamentos que utilizam compostos a base de ferro, mesmo levando em consideração que o ferro não consiste de um elemento tóxico à saúde humana, um estudo feito por Martyn (1989 apud CARVALHO, 2005) mostrou a relação do acúmulo deste metal no organismo com doenças como o câncer e distúrbios cardiovasculares. Assim, tem-se a cada dia um aumento de pesquisas buscando por produtos alternativos que apresentem um efeito satisfatório na redução de turbidez e causem menos danos à saúde e ao meio ambiente como é o caso dos coagulantes orgânicos, principalmente os naturais (CARVALHO, 2005).

3.5.2. Coagulantes Orgânicos

Vários estudos vêm sendo realizados para o desenvolvimento de coagulantes orgânicos devido aos riscos que alguns coagulantes químicos oferecem à saúde humana e pela geração de lodo com difícil tratamento e sua disposição final. Segundo Carvalho (2005), a grande vantagem dos coagulantes orgânicos está relacionada ao fato de não serem tóxicos para a saúde humana, serem biodegradáveis e produzirem menor quantidade de lodo quando comparados aos coagulantes inorgânicos, como os coagulantes a base de alumínio.

Os coagulantes orgânicos são representados por compostos constituídos de grandes cadeias moleculares, dotados de sítios com cargas positivas ou negativas (BORBA, 2001). Dentre os coagulantes orgânicos têm-se os polímeros sintéticos e os naturais. Os polímeros sintéticos possuem cadeia longa e alta massa molar, como exemplo tem-se o óxido de polietileno e o polietileno imina utilizados no tratamento de água e efluentes (OLIVEIRA et al., 2001). Já os polímeros naturais podem ser de celulose, gomas de polissacarídeos e proteínas, amido e derivados, e podem ser utilizados também como auxiliares de coagulação. Neste caso, beneficiam a coagulação aumentando a decantação dos flocos formados (CARVALHO, 2005).

Um estudo realizado por Ali (2010) utilizando sementes da planta *Moringa Oleifera* indicou que é possível sua utilização no tratamento de água destinada ao consumo humano, sendo que esta não apresenta toxicidade à saúde humana. Outro tipo de coagulante orgânico que pode ser utilizado é a quitosana – polímero natural obtida da quitina. Por sua vez, é importante considerar que a quitina é o segundo biopolímero mais abundante no mundo, sendo o principal componente do exosqueleto de crustáceos e alguns fungos (CAPELLETE, 2011).

Tem-se ainda a aplicação de coagulantes orgânicos à base de tanino no tratamento de água, tanto no tratamento de abastecimento humano quanto para efluentes, substituindo alguns coagulantes químicos (PIANTÁ, 2008). Segundo Coral (2009), os taninos naturais podem ser extraídos da casca da Acácia Negra (*Acacia mearnsii*). Estes polímeros possuem a capacidade de atuar em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre as partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e consequentemente sedimentação. A Acácia Negra pode ser visualizada na Figura 3.6.



Figura 3.6. A *Acácia mearnsii*, popularmente conhecida como Acácia Negra (fonte: www.viveiroipe.com).

Segundo Heller e Pádua (2010), a utilização de coagulantes orgânicos no tratamento da água bruta, dependendo da qualidade desta, pode possibilitar ainda certas vantagens como: aumentar a duração da carreira de filtração, reduzir gastos com produtos químicos, aumentar a eficiência na remoção de cor e turbidez, entre outros.

3.5.3. Coagulantes em estudo

O Policloreto de Alumínio (PAC) é um sal de alumínio polimerizado, de fórmula $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$, na qual a relação $m/3n$ representa a basicidade do produto. Em função desta basicidade, este produto durante a hidrólise libera uma quantidade consideravelmente menor de ácido que outros coagulantes tradicionais, como o sulfato de alumínio e cloreto férrico. Este fato provoca uma menor variação do pH do meio tratado ou um menor consumo de neutralizante para reconduzir o pH ao seu valor original (CONSTANTINO *et al.*, 2009).

O PAC possui uma estrutura polimérica que facilita a formação do floco, conferindo-lhe mais peso, tamanho e rigidez, elevando a velocidade de decantação. Este é comercializado na forma líquida, permitindo uma facilidade no manuseio, na estocagem e na aplicação. Com relação ao pH, o PAC é efetivo em uma larga faixa, variando entre 6 e 9 (SRIVASTAVA, 2005)

O Tanfloc consiste numa macromolécula orgânica catiônica, de origem vegetal e com baixa massa molecular. O composto é obtido a partir do tanino, não tóxico, podendo atuar como coagulante ou auxiliar de floculação no tratamento de água, melhorando assim, a qualidade e as condições de tratamento dos resíduos gerados nas ETAs, visto que o lodo gerado no final do processo não possui alumínio incorporado (VANACÔR, 2007). O produto é obtido através da casca de *Acácia mearnsi*, popularmente conhecida como Acácia negra, e seu principal monômero é representado na Figura 3.7, onde nas posições R1 e R2 geralmente tem-se hidroxilas ou uma ligação com outra unidade básica, como as aminas (MANGRICH *et al.*, 2014).

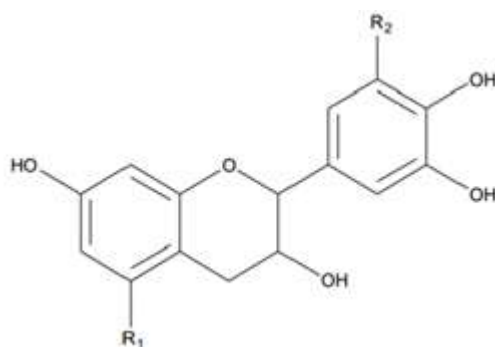


Figura 3.7. Principal monômero da classe dos taninos extraídos da casca da Acácia Negra (adaptado de MANGRICH *et al.*, 2014).

Visto que o Tanfloc é um polímero catiônico orgânico com cargas positivas, quando este é adicionado em águas poluídas, ocorre à desestabilização dos colóides de cargas negativas, que estão em suspensão, pela neutralização das cargas, sendo este o processo responsável pela formação dos flocos (MANGRICH *et al.*, 2014). A estrutura do Tanfloc é mostrada na Figura 3.8.

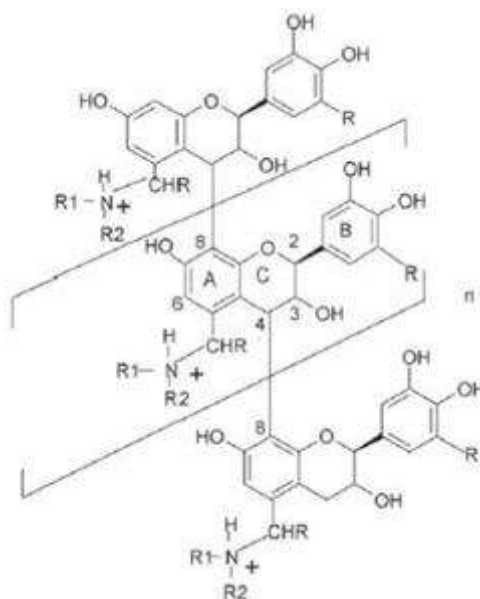


Figura 3.8. Estrutura química do Tanfloc (TANAC).

O floco formado pela adição do Tanfloc possui forma irregular, com maior superfície de contato que os flocos formados pela adição de sais de alumínio, ocasionando numa maior eficiência na clarificação final da água, com grande redução nos valores de cor e turbidez (PIANTÁ, 2008).

4. Material e Métodos

4.1. Teste no Laboratório

Com vista a analisar a eficiência dos coagulantes em estudo, foram analisados os seguintes indicadores de importância relevante na avaliação da qualidade de água para consumo humano: Turbidez, Cor Aparente, Potencial Hidrogeniônico (pH) e cloro residual.

Com o intuito de se determinar a melhor dosagem dos produtos químicos e o pH ótimo que produzirão uma água tratada de melhor qualidade na Estação de Tratamento de Água, testes controlados são feitos sob diferentes condições de concentrações dos coagulantes e pH. O Teste de Jarro ou *JarTest* é o ensaio mais utilizado para avaliar o processo de coagulação/floculação (RODRIGUES, 2004). O equipamento *JarTest* (Policontrol) utilizado pode realizar até seis testes ao mesmo tempo e pode ser observado na Figura 4.1.



Figura 4.1. Equipamento *JarTest* utilizado para avaliar o processo de coagulação/floculação.

Para a realização dos testes, adicionou-se 2 litros de água bruta do ribeirão São Bartolomeu em cada jarro do *JarTest* e para cada ensaio mediu-se os seguintes parâmetros das amostras inicial (água bruta) e final:

- A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico com a utilização de turbidímetro portátil (POLICONTROL modelo AP-2000) provido de fonte de luz de filamento de tungstênio;
- a cor aparente foi determinada através do método da absorbância com a utilização do colorímetro portátil (POLICONTROL- Aqua Color Cor);
- o pH foi determinado pelo método potenciométrico com o medidor de pH portátil (Hach Lange Spain– Modelo Sension^{TM+} pH31), calibrado com soluções tampões de pH 4,7 e 10;
- a análise de cloro residual é feita pela adição do DPD (N,N-diethyl-p-phenylenediamine), que é oxidado pelo cloro causando uma coloração magenta. A intensidade da cor vermelha na reação é diretamente proporcional à concentração do cloro na amostra, sendo medida em um colorímetro digital portátil (POLICONTROL).

Todas as análises foram realizadas nos Laboratórios de Controle de Qualidade e Tratamento do Sistema Autônomo de Água e Esgoto – Viçosa / MG.

4.2. Ensaios com o Policloreto de Alumínio

Nos ensaios de coagulação/floculação com o coagulante PAC preparou-se uma solução na concentração de 20000 mg/L. Para isso pesou-se 20g do policloreto de alumínio em um balão

volumétrico de 1L e completou com água destilada. Retiraram-se, com auxílio de uma pipeta, os volumes 2,0 mL, 3,0 mL, 4,0 mL, 5,0 mL, 6,0 mL e 7,0 mL da solução do coagulante e cada volume foi adicionado em um jarro do *JarTest*. Assim, as concentrações finais de coagulante em cada jarro foram de 20, 30, 40, 50, 60 e 70 mg/L. O tempo de mistura foi de 20 segundos com uma rotação de 100 RPM, seguido da etapa de mistura rápida, de 1 minuto a 100 RPM. O tempo de floculação foi de 30 minutos a 50 RPM e o tempo de decantação foi de 3 minutos, sem rotação. Após este período coletou-se uma amostra, simultaneamente, em todos os jarros e efetuaram-se as análises de turbidez, cor aparente e pH das amostras.

4.3. Ensaio com o Tanfloc SL

Nos ensaios de coagulação/floculação com o Tanfloc SL preparou-se uma solução na concentração de 20000 mg/L, para isso pesou-se 20g do Tanfloc em um balão volumétrico de 1L e completou com água destilada. Retiraram-se, com auxílio de uma pipeta, os volumes 2,0 mL, 3,0 mL, 4,0 mL, 5,0 mL, 6,0 mL e 7,0 mL da solução do coagulante e cada volume foi adicionado em um jarro do *JarTest*. Assim, as concentrações finais de coagulante em cada jarro foram de 20, 30, 40, 50, 60 e 70 mg/L. O tempo de floculação foi de 30 minutos a 50 RPM e o tempo de decantação foi de 3 minutos, sem rotação. Após este período coletou-se uma amostra, simultaneamente, em todos os jarros e efetuaram-se as análises de turbidez, cor aparente e pH das amostras.

4.4. Teste na Estação de Tratamento de Água

Com o objetivo de avaliar e comparar a eficiência de um produto orgânico em relação a um inorgânico na etapa de coagulação-floculação foram realizados testes na Estação de Tratamento de Água I de Viçosa - MG. O sistema de tratamento de água utilizado em Viçosa consiste no tratamento convencional, que passa pelas fases de Coagulação, Floculação, Decantação ou Sedimentação, Filtração, Desinfecção e Fluoretação, conforme Figura 4.2.

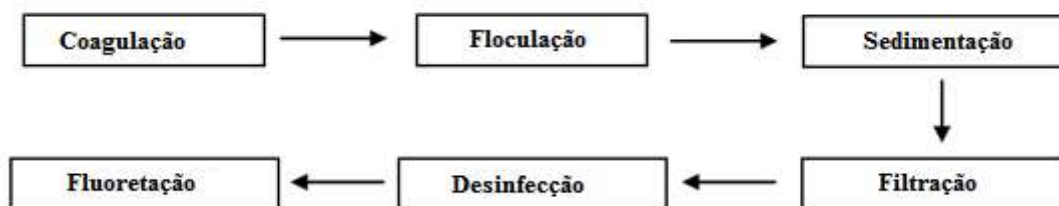


Figura 4.2. Etapas do Tratamento de Água da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.

Na Figura 4.3 é apresentada uma vista geral da ETA I.



Figura 4.3. Vista Geral da Estação de Tratamento de Água I – SAAE – Viçosa/Minas Gerais.

O SAAE possui um ponto de captação superficial para a Estação de Tratamento I, localizado no Ribeirão São Bartolomeu da cidade de Viçosa. Essa captação está distante, aproximadamente, 1 km da Estação. Na Figura 4.4 está demonstrado o ponto de captação da ETA I.



(a)

(b)

Figura 4.4. (a) Ponto de captação de água no Ribeirão São Bartolomeu para a ETA I. (b) Vista geral do ponto de captação.

Ao chegar à ETA I a água recebe o Policloreto de alumínio (PAC) que irá auxiliar no processo de coagulação. A adição desse produto dissolvido é realizada no vertedor conhecido como Calha Parshall, visto na Figura 4.5. Este é um ponto de agitação rápida que promove a mistura do coagulante com a água.



Figura 4.5. Calha Parshall da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.

Após uma rápida mistura dos produtos com a água começa a etapa de floculação, nos chamados tanques de floculação. Nesta, as impurezas presentes na água são convertidas em flocos maiores, adquirindo maior peso, possibilitando a sua separação da fase líquida por sedimentação. A ETA I em estudo possui o floculador com 13 câmaras, como observado na Figura 4.6.



Figura 4.6. Tanque de Floculação da ETA I- SAAE de Viçosa/MG.

A sedimentação é realizada em um decantador circular onde os flocos, formados na etapa anterior, se depositam no fundo pela ação da gravidade. O tanque de decantação da ETA I em estudo pode ser observado na Figura 4.7.



Figura 4.7. Tanque de Decantação da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.

Em seguida, após passar pelo tanque de decantação a água segue para um sistema de filtração composto por quatro filtros, visto na Figura 4.8, para a retirada dos flocos que não são retidos nos decantadores. Os Filtros da ETA I são do tipo ascendentes constituídos pela camada suporte de seixos rolados e pela camada filtrante de areia de 2 diferentes granulometrias.



Figura 4.8. Sistema de filtração da ETA I – SAAE de Viçosa/MG.

Posteriormente a filtração, a água recebe o hipoclorito de sódio para desinfecção e o ácido fluorsilícico para a fluoretação, visando atender a legislação corrente de potabilidade de água de abastecimento. Esta é a última etapa do tratamento da água que, em seguida, vai para um reservatório de 2000 m³, sendo então distribuída para a cidade de Viçosa.

Após as etapas do tratamento, mede-se a cada duas horas, os parâmetros necessários para atender aos padrões de potabilidade da Portaria, como turbidez, cor aparente e pH, da água bruta, da decantada e da tratada. E o teor de cloro residual e fluoreto da água tratada.

A estação de tratamento de água I de Viçosa foi projetada para operar dentro das condições operacionais ideais com uma vazão de 100 L/s, fazendo com que a água tratada produzida atenda, integralmente, aos parâmetros estabelecidos pela Portaria 2.914/2011, do Ministério da Saúde.

5. Resultados e Discussão

5.1. Caracterização da Água Bruta

A água bruta do ribeirão São Bartolomeu, coletada no momento de chegada à ETA I, foi caracterizada de acordo com seus parâmetros físicos e químicos. As análises realizadas foram de cor aparente, turbidez e pH.

Foi realizada a coleta da água em estudo no dia 28 de janeiro de 2016, seguida as medidas das características físico-químicas. Os resultados iniciais se encontram na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Caracterização da água bruta.

Água Bruta	28/01/2016
Turbidez (uT)	32,7
Cor Aparente (uH)	86,6
pH	7,04

Sobre os ensaios feitos com a água bruta caracterizada na Tabela 5.1 do dia 28 de janeiro, foram realizados os *JarTest* com o PAC e o Tanfloc SL. Primeiramente, realizaram-se os testes de bancada e os resultados encontrados foram considerados compatíveis com os da literatura. Assim programou-se o teste do Tanfloc SL na ETA, sendo realizado no final do mês de fevereiro.

5.2. Ensaios no *JarTest*

Após a caracterização da água bruta, os ensaios no *JarTest* foram realizados. Para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, utilizou-se como coagulante inorgânico o Policloreto de Alumínio, já utilizado na estação, e o Tanfloc SL como coagulante orgânico. Os dados dos ensaios referentes à caracterização da variação dos parâmetros em cada concentração se encontram nas Tabelas 5.2 e Tabela 5.3.

Tabela 5.2. Resultados do ensaio *JarTest* utilizando diferentes concentrações do PAC.

Concentração (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (uT)	pH
0 (água bruta)	86,6	32,7	7,04
20	84,5	14,3	6,97
30	84,5	6,07	6,94
40	22,1	4,56	6,91
50	14,6	3,46	6,90
60	18,2	3,32	6,88
70	17,5	3,71	6,85

Tabela 5.3. Resultados do ensaio *JarTest* utilizando diferentes concentrações do Tanfloc SL.

Concentração (mg/L)	Cor (uH)	Turbidez (uT)	pH
0 (água bruta)	86,6	32,7	7,04
20	40,1	5,49	6,93
30	28,1	2,85	6,84
40	20,9	2,22	6,80
50	21,3	2,01	6,77
60	17,4	1,97	6,76
70	19,3	2,25	6,74

É importante salientar que durante os ensaios observou-se que os flocos formados pelo Tanfloc SL foram relativamente maiores e se sedimentaram em um tempo menor quando comparados com os do PAC.

As Figuras 5.1 e 5.2 mostram, respectivamente, os resultados de remoção da turbidez da água bruta com as diferentes concentrações de PAC e de Tanfloc SL.

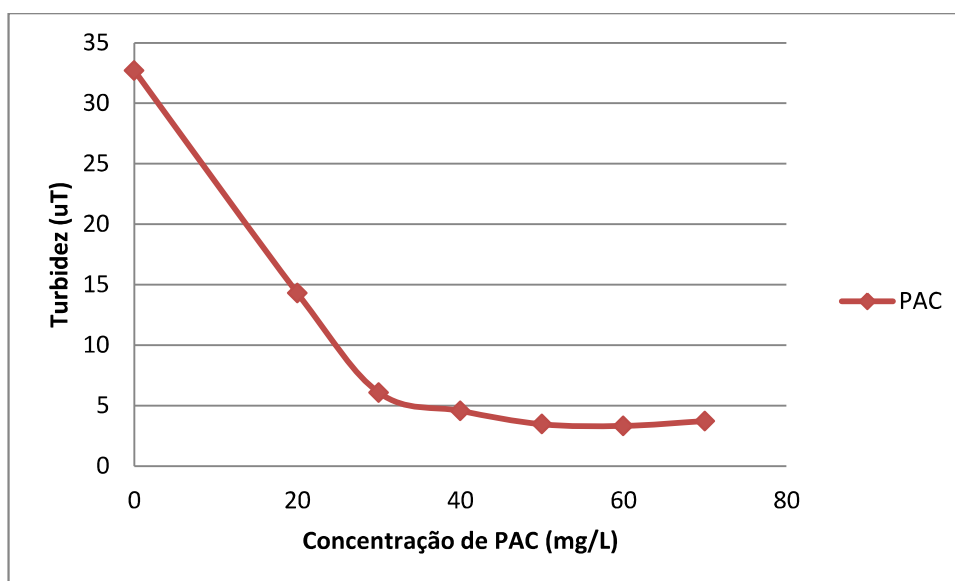


Figura 5.1. Valores de redução do parâmetro turbidez da água com o uso do coagulante Policloreto de Alumínio.

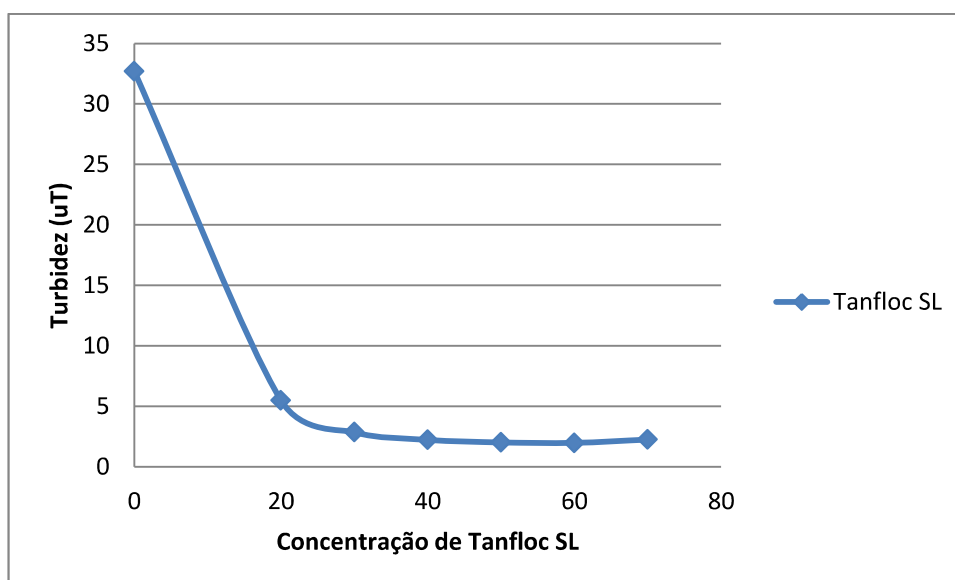


Figura 5.2. Valores de redução do parâmetro turbidez da água com o uso do coagulante Tanfloc SL.

Ao analisar as Figuras 5.1 e 5.2, observa-se que para os coagulantes utilizados, os melhores resultados remoção de turbidez foram obtidos com a concentração de 60 mg/L para o PAC e para o Tanfloc SL, onde o percentual de remoção foi de 90% e 94%, respectivamente.

Além disso, salienta-se que as dosagens de 30 mg/L a 70 mg/L de Tanfloc SL apresentaram ótimos percentuais da redução de turbidez, por volta de 93% a 94%. Enquanto que para o

PAC, os melhores percentuais de redução foram nas concentrações de 50 mg/L a 70 mg/L, variando de 89% a 90%. Assim, demonstra que é possível que o Tanfloc SL tenha a mesma, ou melhor, eficiência que o PAC em uma dosagem menor. De acordo com Torres et al. (2010), em seu trabalho comparando os dois coagulantes, obtiveram dosagens ótimas para os mesmos valores de turbidez com uma quantidade menor para o coagulante natural.

Ao comparar o percentual de remoção da dosagem de 60 mg/L com a de 30 mg/L de Tanfloc SL, temos os respectivos valores de 94% e 91%. Este fato mostra que houve uma diferença pouco significativa entre os percentuais de remoção, levando a concluir que a dosagem mais baixa atende a um ótimo percentual de remoção de turbidez, com um gasto menor de reagente, e consequentemente um menor custo na operação.

As Figuras 5.3 e 5.4 apresentam os valores de remoção do parâmetro cor aparente em função da concentração para os coagulantes adotados no ensaio.

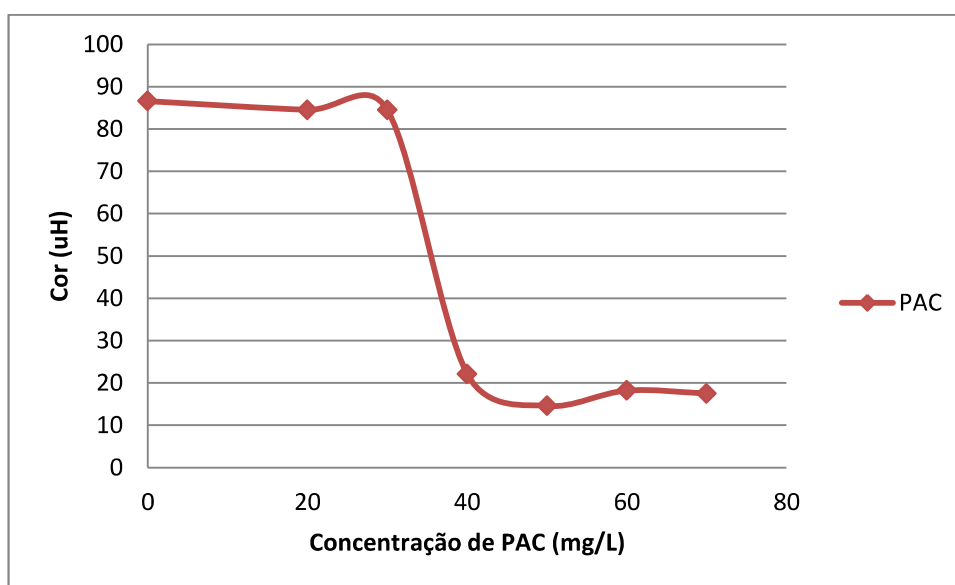


Figura 5.3. Valores de redução do parâmetro cor da água com o uso do coagulante Policloreto de Alumínio.

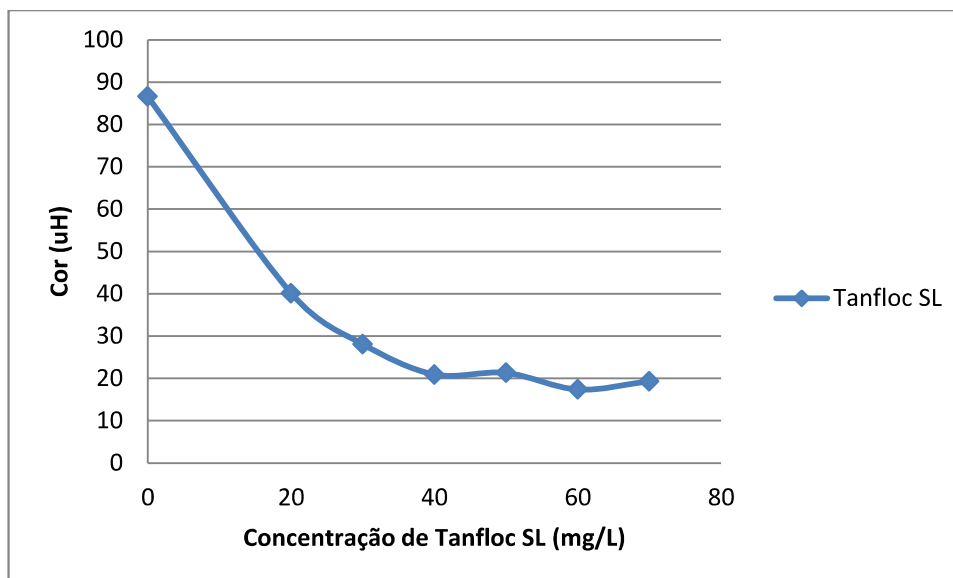


Figura 5.4. Valores de redução do parâmetro cor da água com o uso do coagulante Tanfloc SL.

A figura 5.4 indica que para o Tanfloc SL nas concentrações utilizadas, o percentual máximo de remoção foi 80%, para a concentração de 60 mg/L. Outro ponto a ser destacado, consiste na concentração de 70 mg/L de coagulante orgânico, que obteve um valor de 19,3 uH, atingindo uma remoção de 78%.

O desempenho do PAC para o parâmetro cor, visualizando a figura 5.3, mostra que a dosagem de 50 mg/L obteve o melhor percentual de remoção, que foi de 84%. Esta concentração atingiu um valor de 14,6 uH, que já se encontra dentro do limite da Portaria de potabilidade após o tratamento. Assim, tem-se que as outras dosagens não obtiveram o mesmo desempenho e consequentemente, obtiveram percentuais menores de remoção da cor, porém significativos.

Uma possível explicação para o fato da dosagem de 50 mg/L de PAC quando comparada com as dosagens acima, ter obtido um melhor percentual de remoção de cor, consiste na utilização de uma dosagem excessiva dos coagulantes. Segundo Moraes (2009), uma dosagem excessiva de coagulante pode atrapalhar o fenômeno da coagulação, portanto o controle da mesma deve ser bastante preciso e considerado, quando se trata de estações de tratamento. Em seu trabalho utilizando uma água bruta do rio Pirapó que abastece a cidade de Maringá, com condição de cor relativamente alta, obteve 94% de remoção de cor com uma concentração de

aproximadamente 20mg/L do Tanfloc SL. Para o PAC, a autora teve uma eficiência de até 95% com uma concentração acima de 15mg/L.

Em relação à influência da adição do coagulante na alteração do pH da água ao final dos processos de coagulação, floculação e decantação, as figuras 5.5 e 5.6 apresentam a variação do mesmo nas diferentes concentrações dos coagulante adotados.

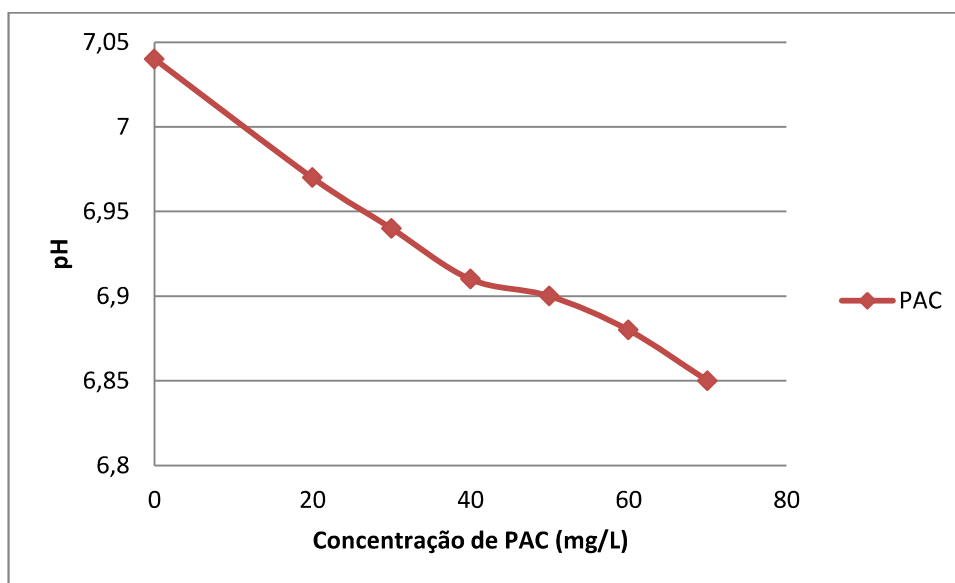


Figura 5.5. Influência da concentração do coagulante Policloreto de Alumínio na alteração do pH da água.

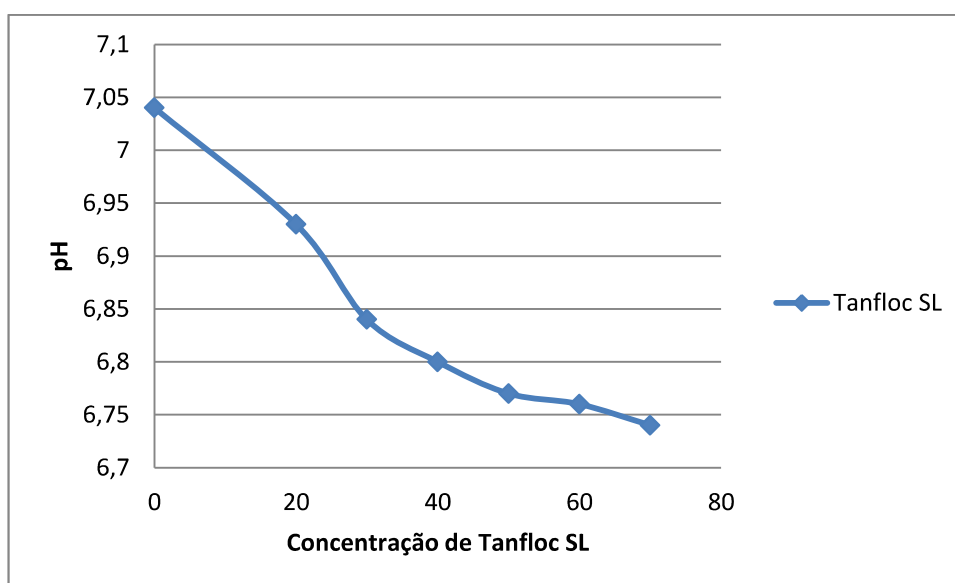


Figura 5.6. . Influência da concentração do coagulante Tanfloc SL na alteração do pH da água.

Ao visualizar as informações das figuras 5.5 e 5.6, nota-se nas amostras tratadas com PAC e com Tanfloc SL uma diminuição no pH, tornando a água levemente mais ácida. À medida que a concentração aumenta, tem-se uma redução do pH da água, visto que na dosagem de 70 mg/L o pH obteve o valor de 6,74, para o coagulante orgânico; e o valor de pH de 6,85 para o inorgânico. Entretanto, mesmo com essa redução, em todas as concentrações os valores de pH já apresentaram-se dentro da faixa de pH permitida pela Portaria de potabilidade após o tratamento. Este fato demonstra que não será necessário a adição de produtos para a correção do pH, a fim de se obter um valor de pH no final do tratamento que atenda a faixa permitida pela Portaria.

Esta variação no valor do pH para o coagulante orgânico, pode ter influenciado no processo de coagulação, fazendo com que não se obtivesse grandes percentuais de remoção de cor. Em estudo, Bomfim (2015), utilizando água do Rio Pardo, em Ribeirão Preto, visualizou que os melhores resultados de remoção de cor e de turbidez foram obtidos em faixas de pH acima de 7,0. Assim, tem-se que as dosagens de coagulante e as faixas de pH de coagulação que otimizam o tratamento estão diretamente relacionadas à qualidade da água a ser tratada, reforçando a necessidade da realização de ensaios de tratabilidade quando do emprego dos coagulantes a base de Tanino.

5.3. Ensaio na Estação de Tratamento de Água

Após observar os resultados em relação à coagulação do Tanfloc SL nos experimentos de bancada, realizou-se o teste na estação. No dia do teste na ETA, 24 de fevereiro de 2016, primeiramente efetuou-se o *JarTest* e definiu-se a concentração de Tanfloc SL a ser utilizada. As dosagens utilizadas nos testes de bancada, variaram de 5 mg/L a 60 mg/L. A partir de então, estipulou-se como dosagem inicial de Tanfloc SL para a ETA, 25 mg/L, visto que esta foi a melhor relação custo benefício para operar. Neste dia, a ETA operou com o PAC, com uma dosagem de 30 mg/L, até o período da manhã e com o Tanfloc SL, o restante do dia.

Na Tabela 5.4 estão apresentados os valores de turbidez alcançados com a utilização do PAC, até as 10h00min, e do Tanfloc SL, de 12h00min às 22h00min. É válido ressaltar que após a leitura dos parâmetros às 10h00min, começou-se a operar a ETA com o Tanfloc SL, a fim de que na leitura seguinte, 12h00min, o valor de turbidez da água decantada fosse obtido em

função da ação do coagulante orgânico. Nota-se, então, que no início do teste a turbidez da água decantada se encontrava com 0,50 uT e ao final do teste foi obtida uma turbidez de 0,10 uT.

Tabela 5.4. Condições e resultados encontrados no teste, em escala da ETA, para avaliação do Policloreto de Alumínio (até 10h00min) e do Tanfloc SL (12h00min às 22h00min).

Horário (h/min)	Turbidez Água Bruta (uT)	Turbidez Água Decantada (uT)
00:00	3,00	0,50
02:00	2,60	0,49
04:00	3,50	0,59
06:00	4,60	0,55
08:00	5,60	0,52
10:00	6,23	0,58
12:00	4,87	0,10
14:00	6,38	0,10
16:00	4,00	0,10
18:00	4,65	0,10
20:00	2,50	0,10
22:00	3,00	0,10

Nota-se ao observar a Tabela 5.4 a alteração dos valores de turbidez alcançados com a utilização do coagulante orgânico. Durante todo o teste com o Tanfloc SL, a turbidez diminuiu, permanecendo constante com o valor de 0,1 uT. Segundo Zolett (2010), o tamanho dos flocos formados pelos coagulantes orgânicos, representa um ponto positivo para estes em relação aos químicos, pois flocos maiores facilitam a decantação, devido ao peso do floco, e a retenção dos sedimentos, enquanto que os flocos menores apresentam maior possibilidade de dispersão na água já tratada, como mostrado na figura 5.7. Este fato exemplifica os valores de turbidez da água decantada com o Tanfloc SL, quando comparada com a água decantada com o PAC.



Figura 5.7. Diferença entre os flocos formados na ETA pelos Coagulantes Tanfloc SL e Policloreto de Alumínio.

Pela análise dos dados e da figura 5.7, observou-se o motivo pelo qual o coagulante orgânico, Tanfloc SL, apresentou os melhores resultados de turbidez durante todo o tempo, quando comparados ao coagulante inorgânico, Policloreto de Alumínio. Os flocos formados pelo Tanfloc SL eram mais irregulares e se sedimentavam mais rapidamente. Essa situação comprovou o especificado pela Tanac (2003), de que floco originado pela adição de Tanfloc possui forma irregular, o que proporciona uma maior área de contato. Assim se obtêm uma clarificação mais eficiente, com uma menor cor e turbidez final.

Segundo Bomfim (2015), nas águas tratadas com os coagulantes Tanfloc SL, não ocorre a ruptura dos flocos em gradientes elevados de floculação; em contrapartida este fato não acontece com o PAC, pois em seu estudo, verificou-se que gradientes de floculação elevados não favorecem a sedimentabilidade dos flocos, deixando a turbidez elevada e prejudicando, assim, a etapa de filtração. Deste modo, visto que a ruptura dos flocos é algo que acontece comumente nas ETAs, devido às altas velocidades dentro das câmaras de floculação, o coagulante Tanfloc se mostrou mais eficiente, pois apresentou melhores resultados de remoção de turbidez, se comparado ao PAC.

Outro parâmetro analisado na comparação do uso dos dois coagulantes para o tratamento de água na estação foi a quantidade de cloro residual. Na Tabela 5.5, têm-se os valores de cloro residual no dia 24 de fevereiro de 2016, com o uso dos respectivos coagulantes em estudo. No estudo de Bomfim (2015), no tratamento da água com Tanfloc SL houve a formação de cloro combinado, consumindo um valor de cloro residual maior que o esperado. Este fato pode ter ocorrido, pois, provavelmente o Tanfloc SL possui grupos aminas em maior

quantidade em sua estrutura, favorecendo a formação de cloraminas em contato com o cloro. Os resultados obtidos corroboram para a necessidade da aplicação do coagulante Tanfloc SL na condição de dosagem mínima, para que não haja a formação de cloraminas, visto que seu poder de desinfecção é significativamente menor que o cloro.

Tabela 5.5. Resultados dos valores de Cloro Residual encontrados no teste, em escala da ETA, para avaliação do Policloreto de Alumínio (até 10h00min) e do Tanfloc SL (12h00min às 22h00min).

Horário (h/min)	Cloro Residual (mg/L) - (24/02/16)
00:00	1,40
02:00	1,40
04:00	1,40
06:00	1,30
08:00	1,35
10:00	1,71
12:00	1,55
14:00	1,24
16:00	1,38
18:00	1,49
20:00	0,90
22:00	0,75

Na figura 5.8 estão apresentados, graficamente, os dados de cloro residual da água tratada apresentados na Tabela 5.5. Nota-se uma alta redução dos valores de cloro residual após a adição do Tanfloc SL às 12h00min.

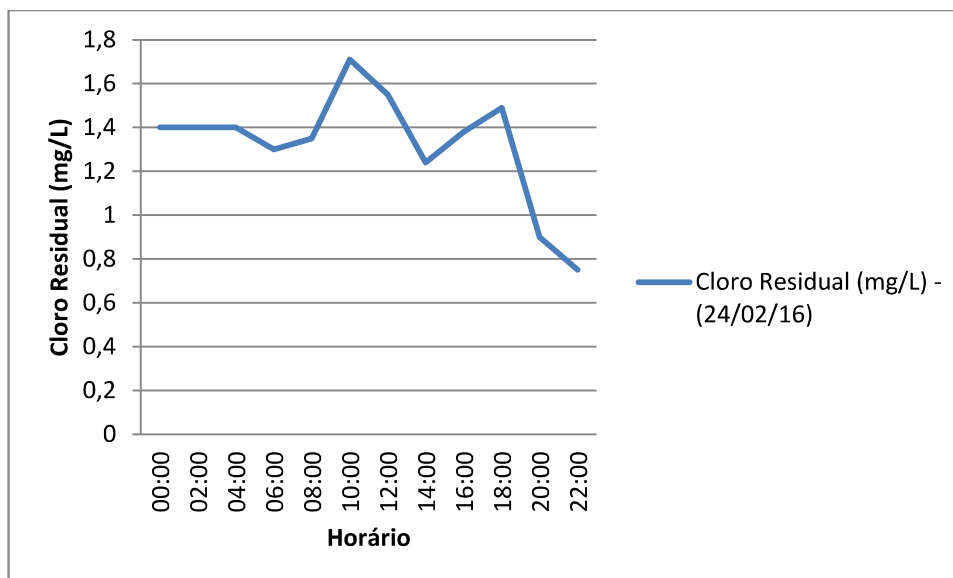


Figura 5.8. Valores de cloro residual (mg/L) obtidos na ETA no dia 24/02/2016, para avaliação do Policloreto de Alumínio (até 10h00min) e do Tanfloc SL (12h00min às 22h00min).

De acordo com a Portaria 2.914/11, o valor máximo permitido de cloro residual livre, em qualquer ponto de abastecimento, é de 2,0 mg/L. Na ETA - I, adota-se o valor de 1,5 mg/L de cloro residual na saída do reservatório, visando atender o padrão de potabilidade estabelecido. O fato relatado por Bomfim (2015) foi o mesmo que ocorreu na ETA I – Viçosa/MG em estudo, para o uso do coagulante orgânico. No período que se utilizou o Tanfloc SL na estação, a capacidade de dosagem máxima da solução de hipoclorito de sódio de 3000 mg/L, foi utilizada no tratamento, com uma vazão de 250 L/h, porém os valores de cloro residual na água tratada, se mostraram menores quando comparados aos valores de cloro residual na água tratada com PAC, onde se utiliza dosagens com vazões de aproximadamente 180 L/h a 190 L/h de hipoclorito de sódio no tratamento. Demonstrando assim, que houve a formação de cloro combinado consumindo uma quantidade de cloro maior que a utilizada na estação.

Com o uso do PAC, não houve a formação de cloro combinado observada com o Tanfloc SL, indicando uma vantagem deste composto em relação ao coagulante orgânico. Desta forma, tem-se a necessidade da aplicação do coagulante Tanfloc SL na condição de dosagem mínima, para que não haja a formação de cloroaminas, sendo que seu poder de desinfecção é menor que o do cloro.

A Tabela 5.6 apresenta os valores unitários dos produtos utilizados na coagulação das amostras da água de estudo.

Tabela 5.6. Custos unitários de mercado dos coagulantes para uso na ETA I - SAAE de Viçosa/MG.

Produto	Preço (R\$/Kg)
Tanfloc SL	2,10
PAC	3,20

Os gastos foram calculados, levando-se em consideração a ETA I – SAAE de Viçosa/MG, com vazão de 100 L/s, operando 24 horas por dia, durante 30 dias. Os valores gastos utilizando-se as mesmas dosagens dos coagulantes estudados são apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7. Custos mensais de mercado dos coagulantes investigados para uso na ETA I – SAAE de Viçosa/MG.

Produto	Dosagens otimizadas estabelecidas no estudo (mg/L)	Custo mensal (R\$/mês)
Tanfloc SL	25	R\$ 13.608,00
PAC	25	R\$ 20.736,00

Observando a Tabela 5.7 percebeu-se que os gastos com o coagulante PAC são mais elevados em relação ao Tanfloc SL. Assim, tem-se que também por esse motivo o coagulante Tanfloc SL se torna competitivo em relação ao PAC, pois as ETAs buscam adquirir os produtos de custo mais reduzido.

Além desta economia na compra do reagente, tem-se a redução do preço no descarte adequado do lodo gerado no tratamento. Uma vez que o lodo gerado a partir de coagulantes a base de metais é classificado como resíduo perigoso, este deve ser devidamente descartado, entretanto esse descarte tem alto custo e muitas vezes ocorre de forma indevida. O lodo gerado a partir do Tanfloc SL não apresenta metais pesados advindos dos coagulantes, ou seja, é totalmente orgânico quando a água bruta não apresentar metais em sua composição. Sendo assim, o descarte do lodo gerado a partir dos coagulantes orgânicos é economicamente

mais viável, além de poder ser fonte de renda quando aplicado a outras finalidades. Porém recomenda-se realizar um estudo de caracterização do lodo gerado a partir desses coagulantes, para poder avaliar a melhor utilização e/ou o descarte do mesmo.

6. Conclusões

Com base nos resultados referentes à avaliação e comparação da utilização do Tanfloc SL em substituição ao PAC, para o tratamento da água na ETA I – SAAE de Viçosa/MG, conclui-se que o coagulante orgânico pode substituir o inorgânico nas condições que a estação está operando atualmente.

O Tanfloc SL demonstrou um poder de coagulação maior que o PAC, sendo este fato observado através dos valores de turbidez da água decantada da ETA, que apresentaram uma sensível melhora. Neste, tem-se a redução da turbidez em aproximadamente 80%, e a estabilidade da mesma em 0,1 uT durante a operação com o coagulante orgânico. Em contrapartida a redução de turbidez, com o uso do Tanfloc SL observou-se um consumo maior de cloro, quando comparado com o PAC. Esta questão pode ser eliminada com o emprego de dosagens mínimas deste coagulante.

Com o emprego das dosagens estabelecidas de Tanfloc SL e do PAC, os gastos com o produto químico para a etapa de coagulação chegaram a ser mais altos quando comparados com o produto orgânico, demonstrando outro ponto positivo para a substituição.

Como sugestões para a continuidade do trabalho, seria interessante avaliar o tempo máximo de utilização dos filtros e a caracterização do lodo gerado a partir do emprego do coagulante a base de tanino.

7. Referências Bibliográficas

ALCANTARA, F. J. V. Estudo comparativo de dois leitos filtrantes com porosidades distintas em sistemas de dupla filtração para tratamento de água. 2010. 115 f. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

ALI, E. Produção de coagulante natural da moringa semente oleifeira para aplicação em tratamento de água de baixa turbidez. *Jornal de Recursos Hídricos e Proteção*. v.2, p. 259-266, 2010.

ARAÚJO, L.C., Desperdício de Água no Município de Itapororoca - PB (uma proposta de conscientização ambiental). Universidade Estadual da Paraíba, Guarabira, 2010.

BASTOS, R.K.X., BEZERRA, N. R., BEVILACQUA, P.D. Planos de segurança da água: Novos paradigmas em controle da qualidade da água para consumo humano em nítida consonância com a legislação brasileira. *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24., 2007, Belo Horizonte. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, (2007). (CD ROM).

BRASIL. Ministério da Saúde (2011). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Poder Executivo, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Disponível em:
<http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.htm>. Acesso em: Abril, 2016.

BOMFIM, A. P. S.; Avaliação dos coagulantes Tanfloc em comparação aos coagulantes inorgânicos a base de alumínio no tratamento de água. Dissertação de Mestrado - Universidade de Ribeirão Preto, UNAERP, Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, 2015.

BORBA, L. R. Viabilidade do uso da moringa oleífera no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 2001.

CAPELLETE, Bruna C. Emprego da quitosana como coagulante no tratamento de água contendo *microcystis aeruginosa* – avaliação de eficiência e formação de trihalometanos. 2011. 127 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

CARDOSO, T. G. Sensor de turbidez para análise de amostras. 2011. 64 f. Trabalho apresentado como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2011.

CARVALHO, M. J. H., Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2008.

CARVALHO, R. M. Clarificação de água pluviais ricas em óxidos de ferro acumuladas em cava de mineração através da utilização de um coagulante natural, a *Moringa Oleífera*. 2005. 111 f. Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CERETTA, M. C. Avaliação dos aspectos da qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Cadena – Município de Santa Maria – RS. 2004. 154 f. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CETESB. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: Abril de 2016.

COLDEBELLA, P. F.; VALVERDE, K. C.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L; BONGIOVANI, M. C.; BAPTISTA, A. T. A.; CAMACHO, F. P.; SILVEIRA, C.; REZENDE, D.; APARECIDA, O.; SANTOS, A.; BERGAMASCO, R.; Avaliação da semente de *moringa oleífera lam* em pó e em solução aquosa e salina no tratamento de água superficial, Anais do XX Simpósio Brasileira de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves – RS, 2013.

CONSTANTINO, A. F.; YAMAMURA, V. D. Redução do gasto operacional em estação de tratamento de água utilizando o PAC. Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2., 2009. Maringá, 2009.

CORAL L. A. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo Humano. In: whorshop internacional na produção de energias limpas, 2., 2009, São Paulo.

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

DI BERNARDO, L; PAZ L. P. S. Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água. São Carlos: Editora LDiBe, 2008. v. 2. 1560 p.

GASPAROTTO, F. A.; Avaliação ecotoxicológica e microbiológica da água de nascentes urbanas do município de Piracicaba-SP. 2011. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

GUEDES, C. D.; PEREIRA, J. G.; LENA, J. C.; PAIVA, J. F. Coagulação/Floculação de suspensões ricas em óxidos de enxofre por sulfato de alumínio. Química Nova, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 715-719, 2004.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter Lúcio. Abastecimento de água para consumo humano. 2 ed. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2010, a, v. 1.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, K. Y. Princípios de Bioquímica. 4. ed. São Paulo: Sarvier, 2006.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

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

MACEDO, Jorge A. B. de. Águas e águas. 3 ed. Belo Horizonte: Editora CRG, 2007.

MANGRICH, A.S.; DOURMER, M.E.; MALLMANN, A. S.; WOLF, C.R.; Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulantes Derivados de Tanino de *Ácacia mearnsii*. Revista Virtual de Química. Disponível em:

<<http://www.uff.br/RVQ/index.php/rvq/article/viewFile/425/338>>Acessado em: Maio, 2016.

MORAES, L. C. K. Avaliação da eficiência de remoção de cor e turbidez, utilizando como agente coagulante os taninos vegetais, com a finalidade de obtenção de água tratada. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 24, [s.l.], 2007. p. 1-6, ref. I-178.

MORAES, L. C. K. Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá. 2004.

MORAES, L. C. K. Estudo dos processos de coagulação e floculação seguidos de filtração com membranas para a obtenção de água potável. 2009. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

OLIVEIRA, A. P. A.; LUZ, A. B.; Recursos hídricos e tratamento de águas na mineração. Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001, 36 p.

PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada. 2001. 233 f. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PIANTÁ, C. A. V. Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água. 2008. 78 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

RAVINA, L. Everything you need to know about coagulation and flocculation. 4ed. Virgínia: Zeta Meter.Inc, 1993. 37p.

RICHTER, Carlos A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. São Paulo: Blucher. 2009.

RODRIGUES, F. S. F., Aplicação da Ozonização e do Reativo de Fenton como Pré tratamento de Chorume com os Objetivos de Redução da Toxicidade e do Impacto no Processo Biológico, Dissertação de Mestrado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

SILVA, C. A. Estudos aplicados ao uso da *moringa oleifera* como coagulante natural para melhoria da qualidade de águas. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química, Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, Minas Gerais. 2005.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M., Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminum chloride and bagasse fly ash. Colloids and Surfaces 260, 0. 17-28, 2005.

SILVEIRA, Thyago. Análise físico-química da água da bacia do rio Cabelo. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa. Disponível em: <http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080212_092019_MEIO-028.pdf>. Acesso em: Maio 2016.

TANAC. Manual Prático para Uso em Estações de Tratamento de Águas de Abastecimento. Editora Montenegro, 1a Ed., 2003.

TORRES, Ana M. A. *et al.* Utilização do coagulante orgânico natural Tanfloc como alternativa ao uso de sais de alumínio no tratamento da água. In: Jornada Acadêmica Integrada, 25., 2010. Santa Maria.

VANACÔR, R. N.; GEHLING, G. R.; Caracterização do efluente da lavagem dos filtros de uma ETA convencional utilizando coagulante orgânico derivado do tanino. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 24, [s.l.], 2007. p. 1-6, ref. I-008.

VANACÔR, R. N.; GEHLING, G. R.; Caracterização do lodo dos decantadores de uma ETA convencional utilizando coagulante orgânico derivado do tanino. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, 24, [s.l.], 2007. p. 1-6, ref. I-009.

VAZ, L. G. L. Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia. 2009. 83 f. Dissertação de mestrado em Engenharia Química – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIERO, T. A.; GAMASCO, R. B. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. *Eclética Química*, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.

VON SPERLING, M., Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. 243p. (Série: Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.1).

ZOLLET, E. R.; Uso de Polímero Natural a base de tanino (Tanfloc) para o tratamento de água para o consumo humano. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2010.