

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Cyro Antônio Vianna Piantá

**EMPREGO DE COAGULANTES ORGÂNICOS NATURAIS
COMO ALTERNATIVA AO USO DO SULFATO DE
ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Porto Alegre
novembro 2008

CYRO ANTÔNIO VIANNA PIANTÁ

**EMPREGO DE COAGULANTES ORGÂNICOS NATURAIS
COMO ALTERNATIVA AO USO DO SULFATO DE
ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Carmen Maria Barros de Castro

Porto Alegre
novembro 2008

CYRO ANTÔNIO VIANNA PIANTÁ

**EMPREGO DE COAGULANTES ORGÂNICOS NATURAIS
COMO ALTERNATIVA AO USO DO SULFATO DE
ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovada em sua forma final pela Professora Orientadora e pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 03 dezembro de 2008

Prof.a Carmen Maria Barros de Castro
Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS
Orientadora

Prof. Inácio Benvegnu Morsch
Chefe do DECIV

BANCA EXAMINADORA

Prof.a Carmen Maria Barros de Castro (UFRGS)
Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Prof.a Nilza Maria Reis de Castro (UFRGS)
Doutora pela Universidade Louis Pasteur de Strasburgo / França

Prof.a Viviane Trevisan (UFRGS)
Mestre em Biotecnologia pela Universidade de Caxias do Sul

Dedico este trabalho a minha mãe, Adda Maria
(*in memoriam*), a quem devo tudo o que sou, por todas as
minhas vidas passadas e pela eternidade, estando sempre
ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Apresento os meus sinceros agradecimentos a todos, que de alguma forma, me ajudaram na elaboração deste trabalho, sendo que de forma especial:

à Profa. Carmen Maria Barros de Castro, minha orientadora, por ter acreditado na possibilidade da realização deste trabalho e por ter dado todo o apoio e as orientações técnicas necessárias, indicando os caminhos a serem seguidos para que todos os objetivos fossem alcançados com êxito;

à Profa. Carin Maria Schimitt pelas orientações e correções, que permitiram, passo a passo, em cada etapa do trabalho, dar as condições necessárias para avançarmos até o resultado final;

ao Prof. Gino Roberto Gehling, pela atenção e o auxílio dispensados na elaboração deste trabalho;

à Mara Regina R. Domingues, Técnica do Laboratório de Análise de Solos do IPH, pelo apoio técnico e profissional dado durante a realização dos ensaios desta pesquisa;

à Vera Regina Congo de Freitas, Auxiliar de Laboratório, pela atenção e apoio dado ao desenvolvimento deste trabalho;

ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, por dispor de seu laboratório para execução dos ensaios e das análises;

à minha companheira de todas as horas Mirana pelo amor e amizade que me deram força para vencer os obstáculos;

à minha irmã Médarde pela presença fundamental nesta fase da minha vida e pela dedicação e carinho, me dando toda a força e o apoio em todos os momentos;

à minha grande amiga incondicional Anna Selmira, pelos momentos de alegria e descontração e por ter sido fundamental na elaboração deste trabalho. Sem você, o anjo que caiu do céu naquela tarde, não teria alcançado nenhum sucesso;

à empresa TANAC, que disponibilizou o uso de seus produtos, fundamentais para a realização deste estudo;

à Estação de Tratamento de Água – Menino Deus do Departamento Municipal de Água e Esgoto desta cidade, por disponibilizar a coleta de água e o fornecimento do coagulante, indispensáveis para a realização dos ensaios de laboratório.

Caminante, son tus huellas
el camino y nada más;
caminante no hay camino,
se hace camino al andar.

(...) Caminante no hay camino
Sino estelas en la mar...

Antonio Machado

RESUMO

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.

A qualidade da água de abastecimento que é oferecida às populações urbanas, sob o ponto de vista dos padrões físico-químicos e bacteriológicos, qualificando-a em condições de potabilidade e em quantidades suficientes para atender às necessidades dos consumidores, são preocupações das empresas de abastecimento e da sociedade como um todo. Ao processo de tratamento da água decorre o problema do destino final do lodo gerado nas Estações de Tratamento. A carga de alumínio contida nestes lodos, acumulados nos decantadores, pelo uso do sulfato de alumínio como coagulante, retorna ao curso d'água utilizado na captação da água bruta. São necessários estudos aprofundados do lodo das Estações de Tratamento de Água, o que possibilitará a escolha da melhor técnica para a sua disposição final, com a segurança de que os padrões de emissão estabelecidos pela legislação sejam atingidos, minimizando os efeitos provocados pelo seu descarte *in natura*. Segundo alguns estudos citados neste trabalho, na Inglaterra e Suécia, há evidências de maiores incidências da doença de Alzheimer em áreas onde as fontes de água para abastecimento continham maiores concentrações de alumínio. A principal variável na produção de lodo é a adição dos produtos químicos no processo de tratamento, sendo, desta forma, necessário diminuir a sua produção, utilizando outros tipos de coagulantes ou auxiliares na coagulação. Os coagulantes orgânicos de origem vegetal à base de tanino, usados na fase de coagulação-floculação no lugar do sulfato de alumínio, foram a alternativa adotada no estudo desenvolvido no presente trabalho. O tanino extraído da madeira, constituído por compostos polihidroxidofenólicos, é utilizado na produção destes coagulantes biodegradáveis, como o Tanfloc SL e o Tanfloc SG. O estudo comparativo dos valores obtidos nesta pesquisa, em termos de impacto ambiental e custos econômicos envolvidos e a determinação dos parâmetros de potabilidade e de projeto, demonstraram algumas vantagens no emprego destes coagulantes, em relação ao sulfato de alumínio: uso de matéria prima renovável, menor geração de quantidade de lodo, obtenção de lodo orgânico, eliminação de consumo de produtos alcalinizantes e auxiliares de coagulação e reduções dos custos globais do processo.

PALAVRAS-CHAVE: saúde pública; tratamento de água; floculação/coagulação; taninos catiônicos vegetais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: diagrama do delineamento da pesquisa.....	18
Figura 2: remoção do lodo de um dos decantadores da ETA – Menino Deus.....	24
Figura 3: acácia negra ou mimosa (acácia mearnsii).....	33
Figura 4: unidades estruturais dos galotaninos (glucose e ácido gálico) e dos elagitaninos (glucose e ácido hexahidroxidifênico, isolado como ácido elágico).....	36
Figura 5: estrutura base das unidades flavonóides precursoras dos taninos condensados (ou proantocianidas).....	38
Figura 6: estrutura química da substância ativa do Tanfloc.....	43
Figura 7: teste de jarros.....	45
Figura 8: estudo preliminar das dosagens.....	53
Figura 9: curva de dosagem do coagulante Tanfloc SL.....	55
Figura 10: curva de dosagem do coagulante Tanfloc SG.....	58
Figura 11: comportamento dos coagulantes Tanfloc SL e Tanfloc SG com a variação do pH.....	60
Figura 12: estudo comparativo da variação da alcalinidade.....	62
Figura 13: variação do tempo de mistura lenta/floculação.....	64
Figura 14: gráfico de conversão das rotações do agitador em gradientes.....	65
Figura 15: variação do gradiente na fase da mistura lenta/floculação.....	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: tipos de flavonóides precursores diretos das estruturas oligoméricas de taninos condensados.....	38
Quadro 2: nomenclatura de monômeros de flavan-3-óis e dos polímeros correspondentes.....	38
Quadro 3: estudo preliminar das dosagens.....	53
Quadro 4: curva de dosagem do coagulante SL.....	55
Quadro 5: curva de dosagem do coagulante SG.....	57
Quadro 6: determinação do comportamento do coagulante com a variação do pH.....	59
Quadro 7: determinação das variações da alcalinidade.....	62
Quadro 8: variação do tempo de mistura lenta- floculação (min).....	63
Quadro 9: variação do gradiente (s^{-1}) – mistura lenta/floculação.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: concentração de metais pesados em lodos de ETA e no solo.....	26
Tabela 2: características dos lodos de ETA de ciclo completo.....	30
Tabela 3: custos em insumos químicos envolvidos no tratamento de água em uma ETA.....	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS	13
2.3 PRESSUPOSTOS.....	14
2.4 PREMISSAS.....	15
2.5 DELIMITAÇÕES.....	16
2.6 LIMITAÇÕES	16
2.7 DELINEAMENTO.....	17
3 QUALIDADE DA ÁGUA – HISTÓRICO	19
4 SEDIMENTAÇÃO E DECANTAÇÃO EM UMA ETA	21
4.1 FORMAÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LODO.....	23
4.2 ALUMÍNIO.....	25
5 LEGISLAÇÃO DE CONTROLE AMBIENTAL	28
6 COAGULANTES ORGÂNICOS	32
6.1 TANINOS.....	34
6.1.1 O Que são Taninos?.....	34
6.1.2 Classificação dos Taninos.....	35
6.1.2.1 Taninos Hidrolisáveis.....	36
6.1.2.2 Taninos Condensados.....	37
6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COAGULANTES ORGÂNICOS.....	39
6.2.1 Polieletrólitos	39
6.2.2 Coagulantes Orgânicos Vegetais em Estudo.....	40
7 MÉTODOS E ANÁLISES DOS ENSAIOS	44
7.1 TIPOS DE ENSAIO.....	44
7.1.1 Teste de Jarros ou <i>Jar Test</i>	44
7.1.2 Variação do Gradiente de Mistura.....	47
7.1.3 Teste da Alcalinidade.....	48
7.1.4 Características da Potabilidade da Água de Abastecimento.....	49
7.1.5 Determinação dos Valores Admissíveis (VAM).....	49
7.1.5.1 Turbidez.....	49
7.1.5.2 Cor.....	50
7.1.5.3 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	51

7.1.6 Volume do Lodo.....	51
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
8.1 ESTUDO PRELIMINAR DA DOSAGEM ÓTIMA.....	52
8.2 CURVAS DE DOSAGEM.....	54
8.2.1 Curva de Dosagem do Tanfloc SL.....	54
8.2.2 Curva de Dosagem do Tanfloc SG.....	56
8.3 DETERMINAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO COAGULANTE COM A VARIÇÃO DO pH.....	58
8.4 DETERMINAÇÃO DA ALCALINIDADE.....	60
8.5 VARIAÇÃO DO TEMPO DE MISTURA LENTA – FLOCULAÇÃO.....	63
8.6 VARIAÇÃO DO GRADIENTE – MISTURA LENTA.....	64
8.7 DETERMINAÇÃO DO LODO FORMADO.....	67
8.8 COMPARATIVO DOS CUSTOS.....	69
9 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A abordagem deste trabalho de pesquisa está focada de forma geral na Área de Saneamento e Recursos Hídricos. Esta área da Engenharia – modalidade Civil – trata do projeto e controle de sistemas de abastecimento de água, incluindo a captação, adução, reservação, distribuição e tratamento de água. Neste caso, especificamente, serão enfatizadas as questões do tratamento de água e do controle sanitário do ambiente.

O processo de tratamento de água em uma Estação de Tratamento Convencional (ETA) apresenta as seguintes fases: coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. Este trabalho terá como enfoque as unidades onde são processadas as etapas de coagulação- floculação.

São nos decantadores das estações de tratamento de água que ocorrem a remoção das partículas floculentas formadas durante o processo de floculação. Para que este processo se desenvolva esses decantadores são projetados, de forma sistemática, para remoção de flocos formados a partir da coagulação com sulfato de alumínio.

Em decantadores clássicos ou convencionais a remoção do lodo sedimentado é feita manualmente, com o auxílio de jatos de água e rodos. De modo geral, os decantadores são limpos periodicamente (30 a 60 dias) e o lodo que é gerado no primeiro terço do comprimento dos decantadores não mecanizados de escoamento horizontal é descartado. A remoção do lodo de fundo, para fins de limpeza dos decantadores, gera um problema com implicações de ordem econômica e ambiental: o destino que se deve dar a este volume enorme de resíduos com grandes concentrações de sulfato de alumínio. Por exemplo, na ETA – Menino Deus, em Porto Alegre, este lodo retorna ao lago Guaíba, que é o manancial de origem onde é feita a captação. O destino que atualmente é dado ao lodo gerado nas estações de tratamento de água não é uma prática recomendada do ponto de vista ambiental.

A preocupação atual, em decorrência do uso sistemático do emprego do sulfato de alumínio como coagulante nas estações de tratamento de água, é de encontrar

alternativas: como o emprego de outros coagulantes principalmente de origem vegetal. Indústrias químicas e petroquímicas do Brasil e Europa estão empregando um polímero de origem vegetal, no lugar do sulfato de alumínio e outros metais, para efetuar a etapa de coagulação em estações de tratamento, tanto de lodos industriais como em águas destinadas ao consumo humano. Esta alternativa poderia significar maior eficiência no processo de coagulação-floculação, assim como traria solução de problemas decorrentes do uso do sulfato de alumínio com relação ao seu descarte.

O estudo proposto neste trabalho de pesquisa foi desenvolvido no intuito de realizar uma comparação entre o coagulante usado de forma sistemática nas estações de tratamento de água, o sulfato de alumínio, e coagulantes orgânicos de origem vegetal específicos, como o Tanfloc SL e o Tanfloc SG, produzidos no estado do Rio Grande do Sul.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

De acordo com as considerações apresentadas na contextualização deste trabalho, pode-se então ter como definição do problema desta pesquisa a seguinte questão: quais as vantagens e desvantagens, do ponto de vista ambiental, econômico e de projeto, do emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio nas unidades de coagulação-floculação de uma Estação de Tratamento de Água Convencional?

2.2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto de pesquisa pode ser definido como sendo a avaliação dos aspectos econômicos, ambientais e de projeto do processo de coagulação empregando coagulantes orgânicos naturais de origem vegetal.

Como resultante do objetivo principal desta pesquisa pode-se formular como **secundários** os seguintes objetivos:

- a) determinação dos parâmetros, em escala de bancada, que são essenciais ao projeto das unidades de uma ETA ou na revisão das já existentes, para emprego dos coagulantes orgânicos naturais de origem vegetal, no tratamento da água para consumo humano;
- b) avaliação da eficiência do processo de remoção de impurezas com o emprego de coagulantes orgânicos naturais de origem vegetal;
- c) realização de um estudo comparativo entre o uso do sulfato de alumínio e outros coagulantes orgânicos naturais de origem vegetal, quanto ao custo

e aos parâmetros de projeto das unidades de coagulação-floculação de uma ETA;

- d) avaliação da quantidade de lodo gerado com o uso de coagulantes orgânicos naturais de origem vegetal.

2.3 PRESSUPOSTOS

Considerando-se as condições necessárias verdadeiras para o contexto da pesquisa, podem-se estabelecer para este trabalho, os seguintes pressupostos:

- a) os padrões de potabilidade estão diretamente associados à qualidade da água que é tratada para o consumo humano em uma ETA, e são determinados pela portaria do Ministério da Saúde n. 518 de 25/03/2004 e os padrões de emissão de efluentes nos corpos d'água, pela resolução do CONAMA/MMA n 357 de 17/03/2005;
- b) o lodo de uma ETA que utiliza o sulfato de alumínio como floculante-coagulante é retirado por limpeza manual do decantador de tempos em tempos (30 a 60 dias) e é jogado de volta no manancial de origem. No caso da ETA - Menino Deus, o lodo tem como destino o lago Guaíba;
- c) a fixação das condições exigíveis na elaboração de projeto de estações de tratamento de água destinada à produção de água potável para abastecimento público é especificada pela NBR 12216/92.

2.4 PREMISSAS

Como princípios ligados ao problema de pesquisa, se estabelecem as seguintes premissas:

- a) dentro do que é estabelecido pela portaria do Ministério da Saúde n. 518/04 que determina as características da qualidade da água potável, para consumo, os parâmetros físicos de potabilidade são: turbidez, sólidos, cor, transparência, condutividade, temperatura, sabor, cor; os parâmetros químicos são: pH, acidez, alcalinidade, dureza, OD, DBO, DQO, grupo nitrogênio, cloretos, fosfatos, metais, pesticidas e os biológicos: macroscópicos (peixes, moluscos) e microscópicos;
- b) o projeto das unidades de floculação-coagulação de uma ETA é resultado da fixação de valores dos parâmetros: gradiente de velocidade, tempo de mistura e número de Camp, determinados em nível de laboratório pelo teste de jarros;
- c) a ação aglutinante dos polímeros naturais derivados do tanino tem ação de forma a aumentar a velocidade de sedimentação dos flocos e a resistência às forças de cisalhamento dos mesmos. Sendo que os polieletrólitos podem ser usados sem a aplicação do coagulante primário para os tipos de água mais comuns;
- d) as velocidades da mistura lenta e da mistura rápida são avaliadas a partir dos parâmetros: tempo de detenção, vazão de instalação (vazão em condições normais de funcionamento), gradiente de velocidade e número de Camp;
- e) a eficiência do processo de coagulação-floculação depende, fundamentalmente, da alcalinidade e do pH.

2.5 DELIMITAÇÕES

Condicionando-se no contexto da presente pesquisa, consideramos como delimitação: a pesquisa foi realizada utilizando a água bruta bombeada do lago Guaíba para a ETA - Menino Deus.

2.6 LIMITAÇÕES

De acordo com os objetivos da pesquisa, este trabalho de pesquisa terá como limitações:

- a) as variáveis de projeto, como: tempo de detenção, gradiente de velocidade, número de Camp e tempo de mistura que serão analisados para cada coagulante a partir da determinação dos parâmetros através do teste de jarros;
- b) a verificação dos custos, para possíveis comparações, que terão como base de cálculo os valores de mercado praticados pela TANAC e do fornecedor de sulfato de alumínio para a ETA – Menino Deus, na época da realização das análises, compreendendo o período de maio - junho de 2008;
- c) a coleta de água bruta do lago Guaíba, objeto das análises, foi feita pela ETA – Menino Deus, no período de maio-junho de 2008.
- d) o sulfato de alumínio, que foi utilizado nos ensaios de bancada com o *jar-test* neste trabalho de pesquisa, é o mesmo que, rotineiramente, é empregado como coagulante na ETA - Menino Deus de Porto Alegre;
- e) os coagulantes de origem vegetal empregados nestes testes são o Tanfloc SG e Tanfloc SL, fabricados pela TANAC;
- f) para o teste de jarros utilizou-se o aparelho disponível no laboratório do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS.

2.7 DELINEAMENTO

Para identificar e descrever o delineamento da pesquisa a ser desenvolvida, pode-se apresentar as seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica: estudo comparativo das informações relativas às características e propriedades físico-químicas das substâncias utilizadas como coagulantes neste trabalho de pesquisa; análise da legislação existente que estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano; leitura de trabalhos de pesquisa realizados anteriormente na área de tratamento de água e efluentes com coagulantes orgânicos de origem vegetal; conhecimento operacional de uma ETA, assim como da elaboração de projeto das unidades de uma estação de tratamento de água;
- b) definição dos parâmetros a serem analisados para que sejam feitos os estudos comparativos entre os coagulantes empregados, em termos ambientais e econômicos; definição do local de coleta e origem da água bruta a ser analisada e dos produtos usados como coagulantes;
- c) definição dos tipos de testes de laboratório que serão feitos para a determinação dos parâmetros de projeto das unidades de coagulação-floculação de uma estação de tratamento de água;
- d) análise e tratamento dos dados coletados no laboratório; levantamento dos preços dos insumos envolvidos no tratamento de água através de gráficos, quadros e tabelas; determinação dos valores da melhor dosagem (dosagem ótima) dos coagulantes, pelo teste de jarros que reproduz em nível de bancada o processo de coagulação, floculação e sedimentação de uma ETA;
- e) cálculo e estudo comparativo, sob o ponto de vista econômico e das dosagens ótimas, entre o sulfato de alumínio e os coagulantes orgânicos naturais de origem vegetal;

- f) conclusão e considerações finais, obtidas à partir dos dados coletados e das determinações dos cálculos dos parâmetros necessários para as comparações da eficiência dos coagulantes orgânicos e do sulfato de alumínio que é usado como coagulante na ETA - Menino Deus.

Estas etapas são apresentadas no diagrama da figura 1.

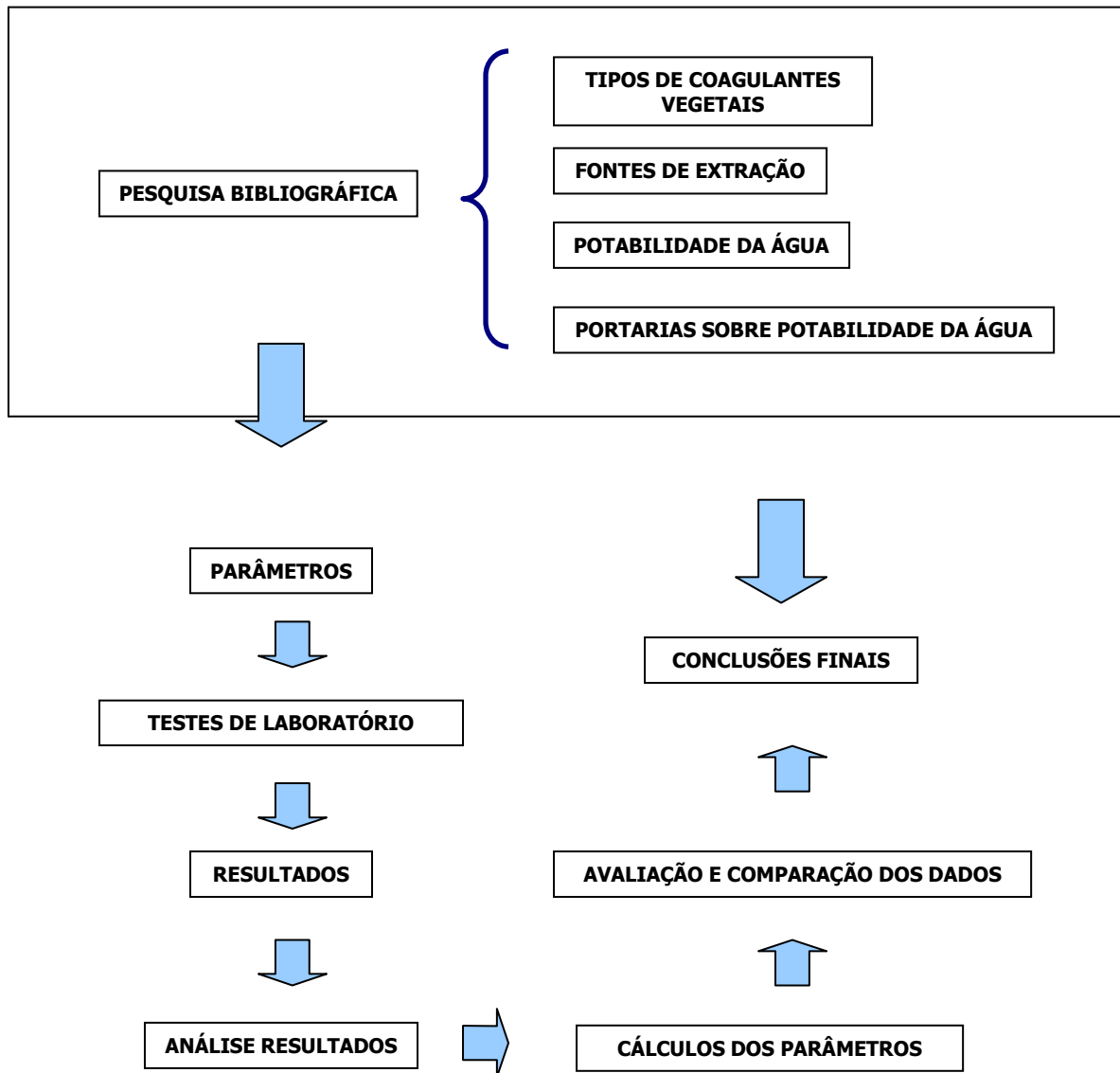


Figura 1 – diagrama do delineamento da pesquisa

3 QUALIDADE DA ÁGUA – HISTÓRICO

A preocupação em atender as necessidades de fornecimento de água com a qualidade adequada, sob o ponto de vista físico, químico e bacteriológico, visando atender finalidades higiênicas, estéticas e econômicas, e em quantidade suficiente para atender a população deve passar pela forma e pelos métodos empregados no tratamento da água bruta captada pelas Estações de Tratamento. Os problemas decorrentes destes processos de tratamento, como o destino do lodo, e o uso de coagulantes alternativos que não causem impactos ambientais nos mananciais de origem devem ser considerados como alvos de estudo.

A água é um bem valioso e, como tal, a sua importância no desenvolvimento das civilizações, historicamente, está sempre presente. De acordo com Schniff (1996 apud SILVA, 1999, p. 12), as culturas milenares da China, Índia, Mesopotâmia, Egito, Roma e povos das culturas americanas são exemplos clássicos das grandes civilizações que nasceram às margens dos grandes cursos de água. Estes corpos d'água formam a base primária necessária para vida e agricultura. Desta forma (SCHNIFF, 1996 apud SILVA, 1999, p. 12):

São conhecidos importantes aquedutos romanos, cujos vestígios nos permitem apreciar uma concepção técnica e urbanística muito desenvolvida. Entretanto, a necessidade de estabelecer núcleos urbanos em zonas estratégicas e afetada pelo seu crescimento, além de outros fatores externos, com o tempo, fizeram cair a qualidade da água disponível, e por conseguinte, tornou-se ponto decisivo para a busca de fontes mais adequadas a distância.

Segundo Leme (1984 apud SILVA 1999, p. 13) à medida que as aglomerações humanas foram tornando-se mais densas com a formação das cidades, a necessidade de grandes volumes de água passou a constituir um problema que obrigou os antigos a executarem grandes obras destinadas a captação, transporte e armazenamento deste líquido. Destas obras destacam-se, conforme Leme (1984 apud SILVA, 1999, p. 13), os antigos tanques de Aden na Arábia (600 anos depois de Cristo). Porém, foram os romanos que possuíram o sistema de abastecimento mais completo. Após terem poluído do rio Tigre,

os romanos ampliaram o seu sistema de abastecimento, construindo aquedutos que traziam água de pontos distantes da cidade, até hoje existentes. Estes aquedutos eram dotados de pequenos tanques constituídos de areia e cascalho, onde partículas mais pesadas se depositavam no fundo e a água tratada era conduzida para cisternas, fontes públicas e algumas residências particulares. Assim, a captação, o transporte e o armazenamento da água surgiram pelo aumento do consumo e desenvolvimento da comunidade. Da mesma forma:

No século XII, países como a França, tiveram baixo índice sanitário, em virtude do baixo consumo de água per capita. O abastecimento em Londres, inicialmente foi feito com água de fontes conduzida por conduto de chumbo e alvenaria, mas só em 1582 foi utilizada a água do rio Tamisa, graças a primeira bomba na ponte de Londres e do transporte da água bombeada através de tubulação para cidade. Com a invenção da máquina a vapor foi possível o emprego de bombeamento com capacidade e potência adequadas. Mas só no século XIX se desenvolveu o sistema de abastecimento, com a fabricação de tubos de ferro capazes de suportar maiores pressões de acordo também com a topografia e geologia locais (LEME, 1984 apud SILVA, 1999, p. 13).

De acordo com Babbitt (1967 apud SILVA, 1999, p. 14) e Sesan (1996 apud SILVA, 1999, p. 14), nos Estados Unidos, em virtude da poluição e contaminação das águas captadas para abastecimento público, houve progressos e desenvolvimentos científicos no campo do tratamento de águas a fim de torná-las próprias para consumo humano. Assim sendo, em 1832, foi construída a primeira estação de tratamento de água que mesmo tendo resultados poucos satisfatórios serviram de base para outros projetos sendo que ,em 1858, já se abasteciam cidades americanas com água tratada.

O tratamento de água contribui significativamente no controle das doenças de veiculação hídrica, enfatiza Heller (1997 apud SILVA, 1999, p. 14). Assim (LEME, 1984 apud SILVA, 1999, p. 14), afirma:

Neste sentido os países desenvolvidos apresentam indicadores de saúde que demonstram o controle dessas doenças por ações de saúde pública e saneamento. Nos países em desenvolvimento ainda persistem índices que deixam claro a baixa qualidade de infra-estrutura sanitária. Em busca da diminuição da defasagem histórica entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, no campo do tratamento d'água vem sendo estudados novas técnicas de purificação principalmente com a utilização de novos floculadores, decantadores e filtros que dependem de novos coagulantes químicos.

4 SEDIMENTAÇÃO E DECANTAÇÃO EM UMA ETA

A remoção das partículas sólidas em suspensão, nas estações de tratamento de água, é um processo natural e decorre da utilização das forças gravitacionais atuantes que as separam por estas se tratarem de partículas com densidades superiores a da água. A sedimentação de partículas flocculentas é também chamada de **decantação**. Este processo de separação é feito em unidades da estação de tratamento conhecidas como tanques ou bacias de decantação ou, simplesmente decantadores. A sedimentação simples não é capaz de remover impurezas contidas nas águas naturais que se apresentam em estado coloidal. Estas partículas necessitam passar antes por um processo de aglomeração para formar flocos com maior densidade do que a água, permitindo assim sua posterior deposição no fundo do decantador. Desta maneira, a decantação das impurezas contidas na água nas estações de tratamento pressupõe o uso de um processo de coagulo-floculação. As partículas que não forem removidas na decantação deverão ser eliminadas por filtração. Em processo de sedimentação de partículas flocculentas, espera-se uma eficiência de remoção de cerca de 80 a 90% para a turbidez e 80% para coliformes (não publicado) ¹.

A coagulação é usualmente obtida pela adição de agentes químicos, conhecidos como eletrólitos, que através de mecanismos de ligação e adsorção nas superfícies das partículas coloidais, anulam as forças de repulsão entre as partículas. A floculação das partículas já coaguladas pela ação do eletrólito, é resultado das diferentes forças de atração que atuam entre estas partículas **neutralizadas** que se agregam umas as outras, formando flocos (não publicado) ².

Para a coagulação, é comum o emprego de sais inorgânicos como agentes coagulantes, cuja ação resulta da presença de cargas eletricamente opostas às das partículas coloidais, isto é, quanto maior a carga do cátion, maior o efeito coagulante. A este fato decorre o

¹ Apostila IPH – **Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público** (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

² Idem.

uso de coagulantes com cargas elétricas elevadas (Fe^{3+} e Al^{3+}) como agentes coagulantes em sistemas coloidais em que a água é a fase contínua (não publicado) ³.

Os agentes de coagulação mais utilizados são os sais de alumínio e de ferro. Pelas razões que serão objeto de discussão neste trabalho, os agentes coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico são os mais usados. Sendo que a coagulação é função dos produtos de hidrólise desses sais na água. Entre valores de pH de 4,0 e 7,0, há predominância de espécies do tipo $[\text{Al}_x(\text{OH})_{2,5x}]^{1/2x+}$. Tais espécies como $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{4+}$ são íons complexos, que reduzem o potencial de repulsão das partículas coloidais por adsorção. Com valores de pH superiores a 7,0, há um predomínio da espécie iônica $\text{Al}(\text{OH})_3$, que é insolúvel, formando colóides de carga positiva que é capaz de promover a coagulação dos colóides de carga negativa predominantes na água. Os agentes alcalinizantes mais utilizados, por serem de menor custo, são o Hidróxido de Cálcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e o bicarbonato de cálcio, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (não publicado) ⁴.

Os agentes de coagulação orgânica são não somente agentes de coagulação, mas também aceleradores ou promotores de floculação. Nesta categoria incluem-se os polieletrólitos que são substâncias poliméricas contendo grupos ionizáveis na sua composição química. Em função da característica iônica do seu grupo ativo, esses polieletrólitos podem ser classificados em catiônicos, aniônicos ou ainda polianfófilos (de características comuns aos anteriores) (não publicado) ⁵.

É comum o uso de polieletrólitos combinados com eletrólitos inorgânicos (sais de alumínio e sais de ferro) com o objetivo de reduzir o consumo de eletrólito inorgânico, reduzindo o volume do precipitado e também para condicionar a formação de flocos com características adequadas à operação de separação dos sólidos formados (não publicado) ⁶.

³ Apostila IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

⁴ Idem.

⁵ Idem.

⁶ Idem.

4.1 FORMAÇÃO E COMPOSIÇÃO DO LODO

No tratamento convencional da água bruta, os lodos produzidos no processo de clarificação (coagulação, floculação e sedimentação) são acumulados nos decantadores ou posteriormente, retidos no sistema de filtros como água de lavagem. A natureza desses resíduos depende das características da água bruta, do tipo de processo e dos produtos químicos utilizados (não publicado).⁷

Fatores determinantes da natureza e da quantidade dos lodos gerados numa ETA são descritos por Grandin et al. (1993 apud ABOY, 1999, p. 7) como sendo:

- a) os sólidos em suspensão, turbidez e cor aparente da água bruta;
- b) a dosagem de produtos químicos coagulantes e condicionantes como cal, sulfato de alumínio ou cloreto férrico, polieletrólitos catiônicos ou não iônicos e carvão ativado;
- c) a frequência de remoção de lodo dos decantadores;
- d) a frequência de lavagem dos filtros;
- e) o modo de operação dos tanques de regularização de vazão.

A remoção do lodo pode ser manual ou mecanicamente. Na remoção manual é feita a limpeza em períodos de tempo que varia de 30 a 120 dias, dependendo da época do ano e das condições do manancial (figura 2). As concentrações de sólidos no lodo apresentam grandes variações durante a descarga por gravidade, situando-se entre 0,2 e 2%. (GRANDIN et al., 1993 apud ABOY, 1999, p. 5). Os lodos que são formados em tanque de sedimentação contêm 1 a 2 % de sólidos (~10 a 20 g/L), enquanto que águas de lavagem de filtros contêm tipicamente, 100 a 400 mg/L⁸. O volume de águas de lavagem representa 1% a 5% do volume de água tratada em uma ETA (não publicado).⁹

⁷Apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Conforme Grandin et al. (1993 apud ABOY, 1999, p. 5), após a descarga, ainda restam bancos de lodo bastante concentrados, entre 13 e 14 % de sólidos, no fundo do decantador, que normalmente são removidos através de jatos de água sob pressão. Quando a remoção é mecanizada, através de bombeamento ou sifonamento, as concentrações de sólidos podem variar de 0,1 a 6%, dependendo da frequência das descargas. Nos filtros, os sólidos são removidos por ocasião da lavagem dos filtros, geralmente feita em intervalos de 12 a 48 horas, durante 4 a 10 minutos, com fluxo em contra corrente, consumindo cerca de 1 a 5% do volume de água tratada. As concentrações de sólidos podem variar de 0,01 a 0,1 %. Os sólidos presentes nessa água podem ser sedimentados e adensados, podendo atingir concentrações entre 1 a 2%. (GRANDIN et al., 1993 apud ABOY, 1999, p.5). Cerca de 90% dos sólidos suspensos da água bruta são removidos nos tanques de sedimentação, ficando os restantes 10% para os filtros (não publicado).¹⁰



Figura 2 – Remoção do Lodo de um dos Decantadores da ETA – Menino Deus (Foto de Marcus Vinicius Spiandorello, 2007)

⁸ Viessman e Hammer (1998) citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Rio Grande do Sul.

⁹ DOE (1990) citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

¹⁰ Idem

4.2 ALUMÍNIO

De acordo com Fiekja (1995 apud SILVA, 1999, p. 29) e Bessa (1997 apud SILVA, 1999, p. 29), o produto químico mais utilizado como coagulante no tratamento da água é o sulfato de alumínio. O alumínio é bastante eficiente em relação a redução da cor, turbidez, DQO e DB0, diminuindo estas concentrações em 43%. Enquanto o tanino além de minimizar em 65% os parâmetros mencionados, adsorve os metais como o alumínio, ferro, zinco, etc., eliminando-os do meio, diminuindo assim a sua toxidez.. O sal de alumínio era usado durante o Império de Roma e China, para o tratamento de água e, na Idade Média, junto com mel, para tratamento de úlcera e para outros remédios.

Além dos agentes das doenças infecto-contagiosas, o alumínio presente na água, é uma das causas da enfermidade de Alzheimer. Os fatores agravantes são a presença de agentes como vírus, agentes tóxicos, metais, campos eletromagnéticos, pancadas na cabeça, operação cirúrgica ou de anestesia e tensão ou estresse emocional, que são agentes causadores das disfunções em todo sistema do organismo e o comportamento mental da pessoa. (ASSOCIAÇÕES DE ALZEHEIMER DE MONTERREY E NORTE AMERICANA apud SILVA, 1999, p. 29).

O alumínio, aplicado como sulfato no processo de coagulação, é concentrado nos lodos (não publicado)¹¹. O alumínio é considerado tóxico para peixes e invertebrados, (não publicado)¹², mas Doe considera que mais pesquisa é necessário (não publicado)¹³. Em relação à saúde humana, o sulfato de alumínio, dependendo da dosagem, é tóxico e pode provocar doenças de demência e coordenação motora, devido à deficiência renal em filtrar os metais do sangue que é levado ao cérebro como o Alzheimer, mal de Parkinson e Síndrome de Down. Os resultados levantados mostram um possível efeito neurotóxico, devido a uma prolongada exposição ao alumínio (FIEKJA, 1995 apud SILVA, 1999, p. 29; BESSA, 1997 apud SILVA, 1999, p. 29). Estudos desenvolvidos na Inglaterra e Suécia acharam maiores incidências da doença de Alzheimer em áreas

¹¹ Apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

¹² Fridrich et al. (1992) citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

¹³ DOE (1990) citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal e do Rio Grande do Sul.

onde as fontes de água para abastecimento continham maiores concentrações de alumínio (não publicado) ¹⁴.

As altas concentrações de alumínio (2.800 a 30.000 mg/kg) contidas no lodo, possibilitam uma forte capacidade de ligação com o fósforo, enquanto a quantidade de metais pesados pode ser limitada devido ao controle de pureza dos coagulantes químicos. O mesmo ocorre com compostos orgânicos tóxicos que são reduzidos, salvo em casos de contaminação da água bruta. A tabela 1 apresenta os dados obtidos quando foram avaliadas as quantidades de seis metais pesados contidos no lodo produzido em sete estações de tratamento de água nos Estados Unidos. O processo de tratamento da água nessa estação era o convencional, sendo utilizado como coagulante químico, o sulfato de alumínio. Os metais avaliados são normalmente monitorados nas áreas de disposição de lodos. Além disso o lodo de estação de tratamento de água geralmente continha baixo valor fertilizante, com uma taxa de matéria orgânica de 25 a 35 %. (ELLIOTT e DEMPSEY, 1991 apud ABOY, 1999, p.8)

Tabela 1 - Concentração de metais pesados em lodos de ETA e no solo

Metais	Lodo de ETA		Solo		Máximo Permitido (2) (mg/kg)
	Variação (mg/kg)	Média (1)	Variação (mg/kg)	Típico (mg/kg)	
Cd	<0,12	1	0,01-0,7	0,05	25
Cu	135-485	234	2-100	30	1.000
Cr	40-513	187	1-1000	100	1.000
Ni	26-218	102	5-5000	40	200
Pb	18-840	230	2-200	10	1.000
Zn	195-865	557	10-300	50	2.500

(1) Média de oito amostras de lodo analisadas.

(2) Quantidade máxima permitida de metais em lodos para sua utilização em áreas de produção agrícola.

Fonte: (ELLIOTT e DEMPSEY, 1991 apud ABOY, 1999, p.8)

Aboy (1999, p.8) enfatiza que a quantidade e a qualidade dos lodos gerados numa ETA dependem das características da água bruta, produtos químicos e das unidades utilizadas no processo de tratamento, como também do método de operação. Por isso, não se tem o controle da composição do lodo produzido. Assim sendo, segundo Elliot e Dempsey (1991 apud ABOY, 1999, p.8), a variável principal na produção do lodo é a adição dos

¹⁴ Klaassen (1996) citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

produtos químicos no processo de tratamento, podendo ser realizadas as seguintes alterações visando diminuir a sua produção:

- a) reduzir a adição de produtos químicos;
- b) utilizar outros tipos de coagulantes ou auxiliares na coagulação, com a utilização de coagulantes conservativos;
- c) recuperação do alumínio;
- d) trocar o processo de tratamento pela filtração direta;
- e) aplicação do lodo na coagulação.

O emprego de coagulantes orgânicos de origem vegetal derivados do tanino como agente alternativo no processo de tratamento de água visa, deste modo, reduzir as concentrações de metais pesados presentes, de modo específico, as quantidades de alumínio no lodo gerado em uma estação de tratamento de água.

5 LEGISLAÇÃO DE CONTROLE AMBIENTAL

Em razão da importância que a qualidade e a quantidade de água representam para a melhoria da qualidade de vida e da manutenção da saúde humana, foram dispostos os procedimentos e as responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, através da portaria n. 1469/2000 do Ministério da Saúde. Esta portaria foi revogada em junho de 2003, na ocasião em que foi instituída a Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde (SVS/MS), sendo que em virtude desse novo ordenamento na estrutura do Ministério da Saúde, passou a vigorar a **Portaria MS n. 518, de 25 de março de 2004** (BRASIL, 2005a).

Essa Portaria estabelece, em seus capítulos e artigos, as responsabilidades por parte de quem produz a água, no caso, os sistemas de abastecimento de água e de soluções alternativas, a quem cabe o exercício de **controle de qualidade da água** e das autoridades sanitárias das diversas instâncias de governo, a quem cabe a missão de **vigilância da qualidade da água para consumo humano**. No seu capítulo I – das Disposições Preliminares, art. 1º., esta Portaria dispõe sobre procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece seu padrão de potabilidade e dá outras providências. Já no art. 2º., do mesmo capítulo, dispõe que: “Toda a água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.” No art. 4º., adota as seguintes definições (BRASIL, 2005a):

I - água potável – água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde;

[...] IV - controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelo(s) responsável (is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;

De acordo com o art. 12, do capítulo IV desta Portaria: para a garantia da qualidade microbiológica da água, em complementação às exigências relativas aos indicadores

microbiológicos, deve ser observado o padrão de turbidez expresso para água pós-filtração ou pré-desinfecção, no caso de: desinfecção (água subterrânea) de 1,0 UT em 95% das amostras; filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta), de 1,0 UT e de filtração lenta 2,0 UT em 95% das amostras. Sendo que estes são os valores máximos permitidos em unidades de turbidez. O atendimento ao percentual de aceitação do limite de turbidez, expresso acima, deve ser verificado, mensalmente, com base em amostras no mínimo diárias para desinfecção ou filtração lenta e a cada quatro horas para filtração rápida, preferivelmente, em qualquer caso, no efluente individual de cada unidade de filtração (BRASIL, 2005a).

Com relação à presença de alumínio, segundo o art. 16, a água potável deve estar em conformidade com o padrão de aceitação de consumo expresso em concentração de 0,2 mg/L **VMP** (valor máximo permitido). No mesmo art. 16 (BRASIL, 2005a):

[...] §1.º Recomenda-se que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.

§2.º Recomenda-se que o teor máximo de cloro residual livre, em qualquer ponto do sistema de abastecimento, seja de 2,0 mg/L.

Quanto à determinação dos parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e de radioatividade, a Portaria MS n. 518 estabelece que as metodologias devem atender às especificações das normas nacionais que disciplinem a matéria, da edição mais recente da publicação *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, de autoria das instituições *American Public Health Association (APHA)*, *American Water Works Association (AWWA)* e *Water Environment Federation (WEF)*, ou das normas publicadas pela ISO (*International Standardization Organization*) (BRASIL, 2005a).

No que se refere aos efluentes do processo de tratamento da água, segundo Fontana e Cordeiro (2008), a legislação ambiental brasileira visa, embora de maneira corretiva para muitos casos de poluição já estabelecidos com sérios prejuízos ao meio ambiente, conter novas cargas poluidoras e fazer com que os agentes responsáveis pela geração de resíduos poluentes busquem soluções adequadas de disposição. Os rejeitos nos sistemas de tratamento são chamados de lodos (dependendo da concentração de partículas) e normalmente se apresentam com grande quantidade de água livre, acima de 95% e elevados teores de sólidos. Podem apresentar, ainda, concentrações de substâncias que, se lançadas na natureza, prejudicam o ecossistema e transgridem a legislação ambiental.

De acordo com Fontana e Cordeiro (2006), a Resolução CONAMA 357/2005 estabelece padrões para lançamento de efluentes nos corpos d'água e os classifica segundo usos preponderantes e estabelece limites para os parâmetros de DBO_{5,20} (mg/L O₂); Oxigênio Dissolvido (mg/L O₂); Turbidez (uNT); Cor (mgPt/L); pH e substâncias potencialmente prejudiciais como metais, organoclorados e organofosforados. Como exemplo, pode-se apresentar na tabela 2 a comparação entre os parâmetros e valores determinados em três ETA do tipo completa no Estado de São Paulo com o que estabelece o art. 34 da Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005b). Os efluentes líquidos gerados em processos industriais diversos também podem apresentar características como temperatura, pH, DBO, sólidos e metais em valores e concentrações incompatíveis com a legislação para serem lançados diretamente em corpos d'água e solo.(FONTANA e CORDEIRO, 2006).

Tabela 2 – Características dos lodos de decantadores de ETA de ciclo completo

Parâmetros	Conama nº 357 artigo 34	ETA (a)	ETA (b)	ETA (c)
pH	5,0 a 9,0	6,3	7,35	6,8
Alumínio (mg/L)	-	1.700	30	553
Cádmio (mg/L)	0,2	0,12	0,27	nd
Chumbo (mg/L)	0,5	2,66	1,06	10
Cobre (mg/L)	1,0	1,39	0,91	32
Cromo total (mg/L)	0,5	2,7	0,86	19
Ferro total (mg/L)	10,0	3.014	4.200	69999
Manganês solúvel (mg/L)	1,0	101 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾	nd
Zinco (mg/L)	5,0	3,18	48,53	49

(a) Fontana (2004); (b) Cordeiro (2001); (c) Barroso (2002); (1) Manganês total

nd – não determinado

(fonte: FONTANA; CORDEIRO, 2006)

A Lei Federal 6938/1981 “[...] dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente”, seus fins, mecanismos de formulação e aplicação. No art. 2º diz: “[...] tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições de desenvolvimento sócio-econômico aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana” (BRASIL, 1981). Em seu art. 3º, inciso IV define como poluidor a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental (BRASIL, 1981).

A Lei Federal 9605/1998, também chamada de Lei de crimes ambientais, “[...] dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente” em seu capítulo V – Dos crimes contra o meio ambiente, seção I, art. 33º, incrimina cível e penalmente "Quem provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras [...]" (BRASIL, 1998). No art. 3º, parágrafo único, "A responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, co-autoras ou partícipes do mesmo fato". (BRASIL, 1998).

Já no Rio Grande do Sul, a Norma Técnica n.01/89 da Secretaria do Meio Ambiente fixa em 10 mg/L de Al (III) a concentração máxima permitida para lançamento de efluentes. (BIDONE et al., 2001 apud VANACÔR, 2005, p. 25). Dependendo do uso a que se destina um corpo d'água, a Resolução do CONAMA n. 357/2005 fixa limites para o Alumínio dissolvido, em termos de concentração máxima: 0,1 mg/L para águas de classe 1 e 2 e, para as águas de classe 3, 0,2 mg/L. (BRASIL, 2005b).

6 COAGULANTES ORGÂNICOS

A aplicação de coagulantes de origem vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação-floculação no lugar do sulfato de alumínio, para procedimento da etapa de coagulação da água em estações de tratamento, tanto de lodos industriais como em águas destinadas ao consumo humano, tem sido feita atualmente em indústrias químicas e petroquímicas do Brasil e da Europa. Estudo realizado com efluentes de uma lavanderia industrial por Cruz et al. (2005, p. 1) indica que elevado teor de umidade e o grande volume de lodo gerado no tratamento com sais de alumínio dos efluentes de uma lavanderia industrial implicam na busca de alternativas quanto ao uso de coagulantes vegetais. Os resultados demonstram vantagens no uso do tanino catiônico como coagulante: 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. Esses fatores todos permitem concluir que a substituição do sulfato de alumínio pelo tanino catiônico contribui para um processo de tratamento de efluentes mais limpo.

A alternativa encontrada com o emprego de coagulantes orgânicos de origem vegetal justifica-se pelos possíveis impactos ambientais causados pelos coagulantes inorgânicos como o sulfato de alumínio. Segundo Cruz et al. (2005, p. 2) os sais de alumínio e os produtos convencionalmente empregados para a correção de pH são agentes inorgânicos não biodegradáveis que acrescentam elementos químicos à água ou ao lodo. Como principal dificuldade do processo destaca-se o lodo inorgânico gerado, de difícil manuseio por parte das empresas em função do volume gerado e do elevado teor de umidade.

No Rio Grande do Sul, a indústria Tanac desenvolveu produto derivado do tanino, matéria prima extraída da casca da acácia negra, árvore abundante neste Estado. A figura 3 mostra um exemplar da acácia negra, que é originária da Austrália, sendo uma leguminosa altamente disseminada no estado do Rio Grande do Sul (em 1949 já existiam 70 milhões de pés). O produto é descrito como sendo um polímero catiônico,

de baixo peso molecular, de origem essencialmente vegetal, atuando simultaneamente nos processos como coagulante e floculante, recomendado para o tratamento de águas de abastecimento em geral. Neste trabalho de pesquisa serão testados dois destes produtos que receberam a denominação comercial de Tanfloc-SL e Tanfloc-SG ¹⁵.



Figura 3 – Acácia Negra ou Mimosa (*Acacia Mearnsii*) (SILVA, 1999, p.21)

Cruz et al. (2005, p. 10) refere-se aos resultados obtidos na aplicação do coagulante Tanfloc-SG:

[...] os resultados mostraram que o reagente TANFLOC S.G. é biodegradável. Isso indica que esse lodo pode ser eliminado através de processos biológicos de biodigestão, eliminando custos de transporte e disposição para aterros de resíduos industriais. Pesquisas nesse sentido também estão sendo conduzidas por SILVA et al. (1999) na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS. RS) com o lodo gerado no tratamento de água de abastecimento público com tanino catiônico.

¹⁵ Engenheiro Luis Lamb – comunicação verbal.

6.1 TANINOS

6.1.1 O que são taninos?

De acordo com Ribéreau-Gayon (1972 apud JORGE et al., 2001, p. 225), o termo taninos é muito antigo, tendo sido inicialmente introduzido por Seguin em 1796 de forma a descrever os constituintes químicos de tecidos vegetais responsáveis pela transformação de pele animal fresca em couro (curtimento; tanning em inglês). As propriedades fenólicas dos agentes tanínicos, usados na indústria de curtimento de peles, foram demonstradas quando foram oxidados por permanganato a frio e produziram cor através da interação com sais de ferro. No entanto, a principal característica dos taninos, que se constitui como a sua propriedade essencial, consiste na sua capacidade de complexarem e precipitarem proteínas. (JORGE, 2001, p. 225). Desta forma, uma definição possível para os taninos pôde ser a sugerida por Horvath em 1981 (apud CANNAS, 1999, apud JORGE, 2001, p. 226):

Taninos: qualquer composto fenólico, de peso molecular suficientemente elevado, contendo um número suficiente de grupos hidroxilo ou outros grupos adequados (ex. carboxilos), de forma a possibilitar a formação de complexos estáveis com proteínas e outras macro-moléculas, nas condições particulares de ambiente em estudo. Resumidamente, as substâncias designadas como taninos caracterizam-se por: (1) serem compostos oligoméricos constituídos por unidades de estruturas múltiplas com grupos fenólicos livres; (2) apresentarem pesos moleculares que podem ir desde 500 até valores superiores a 20.000; (3) serem solúveis em água, à exceção de algumas estruturas de peso molecular elevado; (4) possuírem a propriedade de se ligarem a proteínas e formarem complexos tanino/proteína que podem ser solúveis ou insolúveis.

Conforme Martinez (1996 apud SILVA, 1999, p. 17), a palavra **tanino** é um termo técnico que não constitui uma expressão química específica. Pertence ao grupo de compostos polihidroxifenólicos diferentes, que se encontram misturados, constituídos por polifenóis simples, carboidratos, aminoácidos e gomas hidroxidolodais e que têm a propriedade de transformar a pele de animais em couro, produção de plásticos, anticorrosivos, cola, floculante, etc. São encontrados em árvores de grande e pequeno porte. A madeira é constituída de dois grandes grupos: o que forma a parte da estrutura celular e a dos materiais extraíveis. Os mais importantes dos quais são os açúcares

simples, os polifenóis, os ácidos graxos e inorgânicos, onde estão presentes o cálcio, potássio, magnésio, sulfatos, fosfatos, carbonatos e silicatos entre outros íons. “Deste grupo de substâncias extraíveis, são dos polifenóis o subgrupo mais importante e numeroso. Os polifenóis se dividem em taninos, ligninas e polifenóis simples (polifenóis menores, flavonóides e outros).” (MARTINEZ, 1996 apud Silva, 1999, p.17; PELLINI, 1995 apud Silva, 1999, p. 17).

Os polímeros extraídos da madeira são derivados da lignina e taninos condensados, que se obtém pela destilação seca ou pirólise (decomposição química dos materiais orgânicos por calor, em baixa pressão, com pouco oxigênio, formando compostos orgânicos principalmente aromáticos), gás metano e óxido de carbono; e águas amoniacais. As paredes das células são compostas por lignina e polissacarídios, entre estes se encontra em maior proporção a celulose e hemiceluloses. A celulose é o composto orgânico mais abundante sobre a terra, sendo que as coníferas têm cerca de 45% deste, 30% de hemiceluloses e 30% de lignina (substância química que impregna os elementos da madeira e lhe dá a sua consistência). A indústria moderna utiliza os taninos vegetais na curtição de peles há mais de trinta anos. E a cada dia é descoberta mais uma utilidade, como é o caso dos floculantes, para tratamento de água e esgoto. (PELLINI, 1995 e MARTINEZ, 1996 apud SILVA, 1999, p. 17).

6.1.2 Classificação dos Taninos

Conforme classificação de Soleno (1932 apud SILVA, 1999, p. 17), os taninos oriundos da ação de insetos (himenópteros do gênero *Cynips galleae*) que atacam castanáceas (*quercus*) são chamados de taninos patológicos. Os que procedem de cascas, frutos e lenho das espécies vegetais são chamados de fisiológicos. Pode-se classificar também pela reação com sais de ferro que desenvolvem a cor preta com tonalidades azuladas, ou preta com tonalidades esverdeadas, estabelecendo a porcentagem de carbono em 52% para o primeiro e 60% para o segundo. Outra maneira de classificação utiliza as propriedades de hidrólises ou decomposição, que podem ser agrupadas para pirológicos e catéquicos. As soluções de taninos são precipitáveis em reação com íons metálicos; por exemplo com os íons de alumínio e ferro desenvolvem flocos de cor preta levemente azuladas ou esverdeadas; na presença de cálcio, bário, zinco, antimônio e estanho, flocos predominantemente branco; e com sais de chumbo, mercúrio, cobalto e bismuto flocos de cor amarelo. Se houver no meio a presença de urânio flocos de cor roxo esverdeado e com a platina verde - sombra. De acordo com Jorge et al., (2001,

p. 226), os taninos são usualmente divididos em dois grupos: taninos hidrolisáveis e taninos condensados. Cada grupo corresponde a um tipo estrutural bem diferenciado.

6.1.2.1 Taninos hidrolisáveis

Conforme Cannas (1999, apud JORGE et al., 2001, p. 226), as moléculas dos taninos hidrolisáveis apresentam uma estrutura caracterizada por um poliol como núcleo central (geralmente D-glucose), cujos grupos hidroxilo se encontram parcial ou totalmente esterificados por grupos fenólicos.

Devido à natureza diversa do poliol central e dos radicais fenólicos a ele ligados, é possível distinguir vários tipos de taninos hidrolisáveis. Os dois principais são: os galotaninos, constituídos por glucose como núcleo central ligado a unidades de ácido gálico ou seus derivados [...], e os elagitaninos, constituídos por glucose como núcleo central ligado a unidades de ácido hexahidroxidifênico que, devido a desidratação espontânea, é normalmente isolado na sua forma dilactona estável: ácido elágico [...] [Figura 4]. (GALVEZ et al., 1997, apud JORGE, 2001, p. 226).

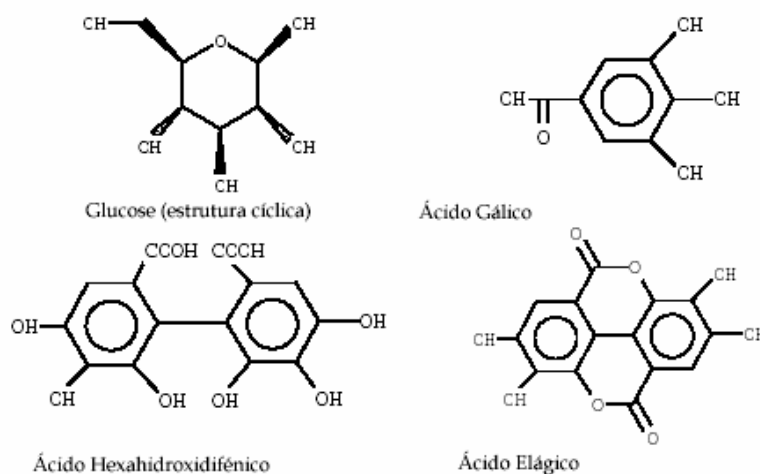


Figura 4 – Unidades estruturais dos galotaninos (glucose e ácido gálico) e dos elagitaninos (glucose e ácido hexahidroxidifênico, isolado como ácido elágico). (GALVEZ et al., 1997 apud JORGE, 2001, p. 226)

6.1.2.2 Taninos condensados

Ao contrário dos taninos hidrolisáveis que geralmente estão presentes em pequenas quantidades nos tecidos vegetais, salienta Laks (1991 apud JORGE, 2001 et al., p. 226-227), os taninos condensados, também designados por proantocianidinas, são bastante mais comuns, estando amplamente distribuídos na natureza:

Deste modo, são do ponto de vista comercial consideravelmente mais importantes. As moléculas de taninos condensados são constituídas por oligômeros ou polímeros baseados em unidades monoméricas do tipo flavonóide.

Segundo Pizzi (1983 apud JORGE et al., 2001, p. 227), os flavonóides são um grupo de compostos significativamente espalhado pelo reino vegetal, sendo as suas moléculas constituídas por unidades tricíclicas e hidroxiladas de 15 carbonos. Dos vários tipos de monoflavonóides que ocorrem na natureza, apenas os flavan-3-óis e os flavan-3,4-dióis participam na formação dos taninos, já que são os únicos com capacidade de sofrerem reações de polimerização, constituindo-se assim como os precursores dos taninos condensados.

As unidades monoméricas C15 apresentam um heteroanel central de éter, ligado a dois anéis fenólicos que podem ser de: anel A – derivados de resorcinol ou floroglucinol; anel B – derivados de pirogalol ou de catecol (e em alguns casos, de fenol) [Figura 5]. A nomenclatura dos diversos tipos de unidades monoméricas e dos polímeros correspondentes encontra-se resumida nos Quadros 1 e 2. No entanto, é necessário salientar que os taninos constituem-se como uma classe de substâncias extremamente complexa e variada que partilham as propriedades químicas semelhantes. As classes e subclasses referidas anteriormente, não representam a totalidade dos taninos existentes na natureza, não esgotando de forma alguma a variedade de estruturas detectadas (JORGE et al., 2001, p. 229).

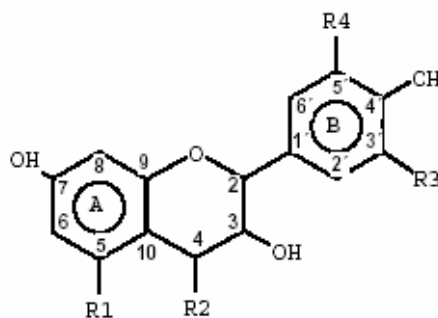


Figura 5 – Estrutura base das unidades flavonóides precursoras dos taninos condensados (ou proantocianidinas).

(GALVEZ et al., 1997, apud JORGE, 2001, p. 226)

R2	Tipo de Flavonóides
-H	Flavan-3-óis ou Catequinas
-OH	Flavan-3,4-dióis ou Leucoantocianidinas

Quadro 1 – Tipos de flavonóides precursores diretos das estruturas oligoméricas de taninos condensados. (JORGE, 2001, p. 228)

R1	R3	R4	Anel A	Anel B	Monômero	Polímero
-H	-OH	-H				Profisetinidina
		-OH				Prorobinetinidina
OH	-OH	-H				Procianidina
		-OH				Prodelfinidina

Quadro 2 – Nomenclatura de monômeros de flavan-3-óis e dos polímeros correspondentes (JORGE, 2001, p. 228)

Os taninos condensados são compostos polifenólicos naturais obtidos pela lixiviação aquosa da casca da *Acacia mearnsii* De Wild (a acácia negra), que sob determinadas condições atuam como agente coagulante/floculante. Neste caso, é produzido um polieletrólito catiônico vegetal de baixo peso molecular (se comparado a outros polieletrólitos), que atua, em ampla faixa de pH, como agente único no tratamento de água para abastecimento (JONG et al., 2001 apud VANACÔR, 2005, p. 32).

6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS COAGULANTES ORGÂNICOS

6.2.1 Polieletrólitos

O uso dos polímeros sintéticos catiônicos tem sido cada vez mais intensivo no tratamento de águas de abastecimento, tanto como auxiliares na floculação e/ou filtração, como também na forma de coagulantes primários. Embora no Brasil, segundo Vanacôr (2005, p. 26), ainda tem sido restrito ao primeiro caso, pois as dosagens necessárias para o seu emprego como coagulante tornariam desvantajoso no aspecto econômico.

“Os coagulantes orgânicos são polímeros formados por cadeias de pequenas subunidades ou monômeros. Se uma unidade monométrica em um polímero contém grupos ionizáveis, tipo carboxil ou amino, o polímero é chamado de polieletrólito.” (VANACÔR, 2005, p. 26). De acordo com Vanacôr (2005, p. 26), os polieletrólitos são polímeros originários de proteínas e polissacarídeos de natureza sintética, de massas moleculares geralmente muito elevadas. Os de massa molecular maior são adequados para a floculação, pois estabelecem ligações entre partículas pequenas dispersas na água, facilitando sua aglutinação. Dependendo do tipo de grupo ionizável na unidade monométrica, um polieletrólito pode ser considerado catiônico, aniônico ou anfólito. Como exemplos deste último tipo, temos as proteínas que contém tanto grupos positivos quanto negativos.

Polieletrólitos carregados positivamente são os tipos mais comumente usados no tratamento de água. Eles podem funcionar como agentes desestabilizantes pela formação de pontes, neutralização de cargas ou ambos. Uma consequência prática da capacidade dos polímeros catiônicos em absorver colóides carregados negativamente por interações químicas e eletrostáticas e neutralizar a carga negativa primária nas partículas naturais é que estes polímeros não necessitam massa molecular grande para serem efetivos na desestabilização.

[...] A maior parte dos polímeros catiônicos usados em tratamento de água tem massa molecular menor do que um milhão de unidades de massa atômica. Sua eficácia, também, é menos afetada pelas condições da solução (pH, força iônica, dureza) do que outros polímeros. Os polieletrólitos catiônicos podem ser utilizados sem aplicação do coagulante primário (para o tipo de águas mais comuns). Os catiônicos podem baixar o potencial zeta a valores reduzidos e ainda promover a floculação (VANACÔR, 2005, p. 27 e 29).

Para Amirtharajh e O'Melia (1990 apud VANACÔR, 2005, p. 30), além das vantagens que se tem na melhoria da decantação e filtração com a adição de polímeros, tem-se grande redução do volume de lodo nos decantadores, em vista dos flocos serem mais compactos e da menor quantidade de coagulante aplicado.

O uso puro e simples de sulfato de alumínio produziria floco miúdo e demoraria muito a sedimentar. Águas de alta turbidez floculam com menores concentrações de coagulantes que as de baixa turbidez. Águas de turbidez relativamente alta floculam com o uso de apenas polieletrólitos catiônicos. O uso de polieletrólitos dispensa a adição de álcalis à água, mesmo quando sua alcalinidade natural for baixa. Isto demonstra que os polieletrólitos ampliam a faixa de pH ótimo para a floculação de uma água (FILHO, 1985, apud VANACÔR, 2005, p. 30).

Segundo Arboleda (1973 apud VANACÔR, 2005, p. 31), uma diferença importante entre os polieletrólitos e os coagulantes metálicos é que, nos primeiros, as cadeias poliméricas já estão formadas quando estes são agregados à água, enquanto, nos coagulantes metálicos, a polimerização se inicia quando se põe o coagulante na água.

6.2.2 Coagulantes Orgânicos Vegetais em Estudo

A estação de tratamento de Novo Hamburgo já utiliza o coagulante que é produzido pela empresa BWE – Brazilian Wattle Extract, localizada no município de Canoas - RS. O nome comercial do produto é *Veta organic* e já é aplicado nas estações de tratamento de água de indústrias de alimentos as quais possuem legislação específica no controle de

água tratada, controlando parâmetros tais como matéria orgânica, não contemplada na portaria 518/04 do Ministério da Saúde.

A empresa TANAC, com sede em Montenegro – RS, produz um coagulante orgânico similar ao *Veta organic*, que é alvo de estudo deste trabalho de pesquisa. Este produto é apresentado comercialmente com o nome de *Tanfloc*. A seguir, apresenta-se a sua descrição, segundo o fabricante (TANAC, 1999 apud VANACÔR, 2005, p. 34):

O *Tanfloc* é extraído da casca de um vegetal, a acácia negra, portanto, trata-se de um produto extremamente natural e que não agride a natureza. É biodegradável e não consome alcalinidade do meio, por isso, não altera o pH da água tratada, além de que os resíduos produzidos em decantadores são em torno de 10% em peso do produzido com outros produtos similares.

O *Tanfloc SG*, também conhecido como tanato quaternário de amônio, é um eficiente floculante natural que atua como polímero catiônico na clarificação da água. É um polímero orgânico-catiônico, de baixa massa molecular, de origem essencialmente vegetal, não tóxico, que atua como coagulante/floculante recomendado para o tratamento de águas de abastecimento em geral e é solúvel em água fria. Experiências demonstraram que quanto mais diluída a solução de *Tanfloc*, maior é a sua eficiência. A concentração da solução de cada estação deve ser adaptada para cada caso. Diversos são os fatores determinantes na dosagem do produto na água bruta, entre eles a turbidez, cor, dureza, matéria orgânica e sólidos dissolvidos. Recomenda-se antes do início da dosagem em planta, que seja realizada teste de jarro (*jar-test*), para definir a dosagem ideal. A prática tem demonstrado variação da dosagem do *jar-test* para planta de aproximadamente 10%. Como o coagulante não consome alcalinidade do meio onde atua, o pH da água de abastecimento fica praticamente inalterado. O pH ideal se encontra na faixa de 7 a 8. Não são requeridas geralmente alterações significativas em relação às instalações da estação de tratamento e ao processo utilizado para o sulfato de alumínio e cloreto férrico além do *Tanfloc* possuir uma eficiência muito maior. O floco originado pela adição de *Tanfloc* possui forma irregular, apresentando uma superfície relativamente maior, o que proporciona maior área de contato, do que o floco originado pelo sulfato de alumínio. Assim consegue-se clarificação mais eficiente, com um menor valor para cor e turbidez finais. O lodo gerado no decantador não possui alumínio incorporado, podendo ser utilizado na agricultura, como demonstrado em laudos de toxicologia (VERANUSSO, 1999 apud VANACÔR, 2005, p. 34-35).

A descrição do *Tanfloc SG* que é feita por Di Bernardo et al (2002, apud VANACÔR, 2005, p. 35), segue nos seguintes termos:

- a) uso na coagulação;
- b) fórmula química de tanato quaternário de amônio;
- c) fornecimento em pó ou líquido;

- d) a preparação da solução em laboratório é feita pesando 10 a 20 gramas do produto líquido e diluindo em balão de 1 litro contendo água destilada (no caso de 10 gramas, resulta em uma solução para a qual cada mililitro da solução conterá 10 miligramas do produto comercial líquido ou em pó); se a dosagem prevista do produto for inferior a 20 mg/L, pode-se trabalhar com uma solução mais diluída, por exemplo, contendo 2 miligramas do produto por mililitro da solução; para obter a dosagem de 20mg/L, serão necessários 20 mililitros da solução em reatores de 2 litros;
- e) o tempo de uso da solução a 2 mg/L é de uma semana;
- f) o nome comercial é *Tanfloc SG*;
- g) é um polímero orgânico de pequena massa molecular, de origem essencialmente vegetal;
- h) a umidade do produto em pó varia entre 4,5 a 6,5%;
- i) o pH da solução preparada a 100 g/L (pó) varia entre 1,8 e 2,7;
- j) a massa específica do produto comercial líquido varia entre 1,15 a 1,20 kg/L;
- l) a massa específica aparente do produto comercial em pó é 0,4 kg/L;
- m) é muito solúvel em água;
- n) o *Tanfloc SG*, quando comercializado na forma líquida, pode ser fornecido em bombonas de 50 kg ou contêiner de 1.000 kg. Quando comercializado em pó, é fornecido em sacos de 25 kg;
- o) a estrutura química do *Tanfloc* é mostrada através da figura 6.

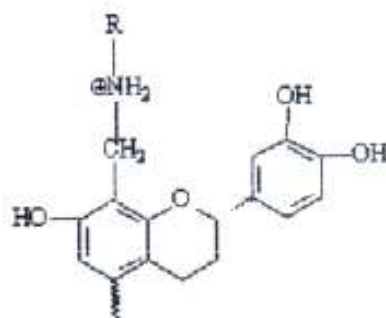


Figura 6 – Estrutura química da substância ativa do Tanfloc (VERANUSSO, 1999 e DI BERNARDO et al., apud VANACÔR, 2005, p.36)

No que se refere aos efeitos toxicológicos do tanino na saúde, Jong et al. (2001 apud VANACÔR, 2005, p. 37) apresentam o resultado de suas análises, decorrentes do fato dos taninos virem sendo considerados como antinutrientes, pelo efeito no decréscimo da conversão alimentar da digestibilidade. Danos hepáticos e da mucosa intestinal de animais de experimentação são atribuídos à ingestão de dietas ricas em taninos. “O Instituto de Ciência e Tecnologia da Alimentação UFRGS, fez um trabalho de avaliação do aspecto toxicológico de águas de abastecimento tratadas com diferentes concentrações de um polieletrólito catiônico vegetal, mais especificamente taninos condensados de *Acácia mearnsii*, com o intuito de verificar problemas decorrentes da ingestão de tanino através da água.” (VANACÔR, 2005, p. 37):

Os ensaios foram feitos em ratos e no final do experimento, retiradas amostras do fígado e do intestino, para histologia, sendo que os resultados são descritos a seguir por Vanacôr (2005, p. 37).

Pelos testes biológicos pôde-se observar que os níveis de tanino utilizados para tratamento da água oferecida aos animais experimentais, não afetaram significativamente a curva de crescimento, consumo de alimentos ou de água e nenhum dos índices que avaliaram o valor da proteína ingerida. A digestibilidade da proteína não foi afetada no início ou no final do experimento, indicando que a presença de resíduos de taninos na água não afetou a absorção protéica. Através do exame microscópico, não foram observadas alterações no fígado nem lesões duodenais em nenhum dos animais necropsiados. As respostas obtidas no experimento indicam que os níveis de taninos, até 110 ppm, não apresentaram nenhuma alteração toxicológica visível (JONG et al., 2001 apud VANACÔR, 2005, p. 37).

7 MÉTODOS E ANÁLISES DOS ENSAIOS

Com o intuito de atender os objetivos principal e secundários da proposta deste trabalho de pesquisa, foram feitos, neste período, ensaios em laboratório, que permitiram traçar um estudo comparativo do desempenho entre os coagulantes orgânicos *Tanfloc SL*, *Tanfloc SE* e o sulfato de alumínio, que é utilizado com o mesmo propósito nas unidades de floculação/coagulação da ETA – Menino Deus de Porto Alegre. Estudos comparativos estes, feitos em termos econômicos e dos possíveis impactos ambientais decorrentes do emprego destes produtos químicos em estações de tratamento de água, como coagulantes.

7.1 TIPOS DE ENSAIOS

7.1.1 Teste de Jarros ou *Jar-Test*

O equipamento conhecido como teste de jarros é empregado como simulador, em escala de bancada, dos processos de coagulação, floculação e sedimentação para amostras de água bruta de diferentes características. Tem a função de determinar a melhor dosagem de coagulante, a chamada *dosagem ótima*. Além de ser utilizado também para obtenção dos gradientes de velocidade e o tempo de mistura, que determinam variáveis de projeto de novas estações de tratamento de água, ou como avaliação e revisão do dimensionamento de estações já implantadas e em funcionamento, com o objetivo de otimizar o processo de clarificação (não publicado) ¹⁶.

Na execução deste ensaio utilizam-se cubas, feitas de vidro ou de acrílico, com agitadores, como é mostrado na figura 7. A estas cubas de volumes determinados (2 L)

¹⁶ Apostila IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

de água bruta são adicionados pequenos volumes da solução coagulante de forma a produzir diferentes dosagens. Posteriormente às rotinas de ensaio, é possível então, com os dados coletados, a determinação da dosagem que permitirá a máxima eficiência de remoção de cor e turbidez ou a menor concentração residual destes parâmetros. Esta dosagem corresponde à *dosagem ótima*.

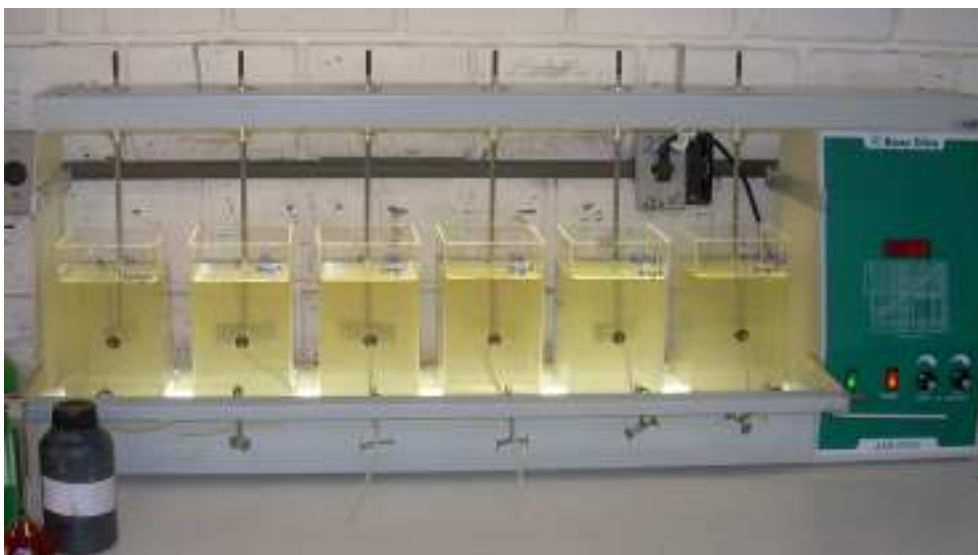


Figura 7 – Teste de Jarros

Neste ensaio se tem a simulação das três etapas das unidades de floculação e coagulação de uma ETA, a saber:

- a) mistura rápida;
- b) mistura lenta;
- c) decantação.

Na *mistura rápida* os coagulantes devem ser adsorvidos pelas partículas coloidais da água de tal forma que as reações físico-químicas que ocorrem durante a dispersão sejam totalmente completadas. Assim sendo, a velocidade de dispersão é de vital importância para todo o processo de clarificação da água. Portanto, a eficiência deste processo depende de um ponto de agitação suficientemente grande que garanta a mistura completa do coagulante com a água num tempo suficientemente pequeno. Em plantas de tratamento de água a mistura rápida (dispersão) pode ser realizada através de sistemas hidráulicos ou mecânicos de mistura. A NBR 12216 – Projeto de Estação de

Tratamento de Água para Abastecimento Público – determina que, no caso de não haver possibilidade de serem feitos ensaios para a determinação das condições ideais em termos de gradiente de velocidade, tempo de mistura e concentração da solução coagulante, devem ser adotados os seguintes valores para a mistura hidráulica: gradiente de mistura entre 700 s^{-1} e 1100 s^{-1} e tempo de mistura entre 1 e 5 segundos (não publicado)¹⁷.

Uma vez dispersados os coagulantes, temos que produzir uma lenta agitação na água para permitir o crescimento dos flocos, que é a etapa conhecida como da *mistura lenta*. Este crescimento é induzido pelo contato entre partículas maiores que $1 \mu\text{m}$, contato este criado pelo transporte (agitação) da massa líquida. Portanto, a forma de produzir agitação, o gradiente de velocidade e o tempo de detenção, são características essenciais que devem ser estudadas em todo o processo de floculação, de maneira a atingir os objetivos básicos da floculação:

- a) reunir os microflocos para formar partículas maiores com peso específico superior ao da água;
- b) compactar o floco, isto é, diminuir o seu grau de hidratação (somente 2 a 11% é matéria sólida);
- c) evitar a pré-sedimentação ou a quebra de floco e os curtos circuitos (gradientes de velocidade muito elevados podem vir a romper flocos previamente formados, enquanto que valores baixos levam a uma floculação incompleta).

Assim, da mesma forma, existem os sistemas mecânicos e hidráulicos para proceder a mistura lenta e os valores do gradiente de velocidade e o tempo de mistura devem ser determinados em ensaios de laboratório com a água a ser tratada. Não sendo possível proceder aos ensaios específicos, podem ser adotados os valores da norma: para os floculadores hidráulicos o tempo deve ficar entre 20 e 30 min e para os floculadores

¹⁷ Apostila IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade do Rio Grande do Sul.

mecânicos, 30 a 40 min; o gradiente de mistura deve estar entre 10 s^{-1} e 70 s^{-1} (não publicado) ¹⁸.

7.1.2 Variação do Gradiente de Mistura

As dimensões e a densidade dos flocos formados são fortemente influenciadas pelas colisões decorrentes das diferentes velocidades das linhas de corrente contíguas na seção transversal ao escoamento. À magnitude das diferenças de velocidade das linhas de corrente dá-se o nome de *Gradiente de Velocidade*. O gradiente de velocidade mede o grau de agitação decorrente da variação de velocidade de escoamento na direção perpendicular a direção do fluxo e é definida pela fórmula 1 (não publicado) ¹⁹:

$$G = \frac{dv}{dz} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

G = gradiente dv/dz é a derivada da velocidade horizontal em relação à vertical.

Na prática, o gradiente de velocidade é uma função da força (energia) produzida ou introduzida em uma unidade de volume de água. Segundo Camp e Stein, o gradiente de velocidade G pode ser expresso pela fórmula 2 (não publicado) ²⁰:

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (\text{fórmula 2})$$

¹⁸ Apostila IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

¹⁹ Idem.

²⁰ Idem.

Onde:

G = gradiente de velocidade em s^{-1} ;

P = potência útil introduzida na água em kgf. m/s;

μ = viscosidade absoluta em kgf.s/m²;

V = volume no qual é dissipada a energia correspondente à potência P, em m³.

Os valores adotados para G são: para a mistura rápida entre 700 s^{-1} e 1100 s^{-1} e para a mistura lenta de 10 s^{-1} a 70 s^{-1} (não publicado) ²¹.

7.1.3 Teste da Alcalinidade

A alcalinidade mede a capacidade da água em resistir às mudanças de pH causadas por ácidos – capacidade tampão. Os bicarbonatos, os carbonatos e os hidróxidos são os principais constituintes da alcalinidade e suas distribuições entre as três formas na água é função do pH. Ambientes aquáticos com altos valores de alcalinidade podem manter aproximadamente os mesmos teores de pH, mesmo com o recebimento de cargas fortemente ácidas. A maioria das águas naturais apresenta valores de alcalinidade na faixa de 30 a 500 mg/L de CaCO₃ (não publicado) ²².

A alcalinidade é uma determinação importante no controle do processo de tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações. Não tem significado sanitário para a água potável, mas em elevadas concentrações confere gosto amargo para a água (não publicado) ²³.

²¹ Apostila IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

²² Idem.

²³ Idem.

No presente trabalho, a alcalinidade foi determinada por titulometria. Utilizando-se dos volumes livrados de uma solução padrão de H_2SO_4 (0,02 N), são feitas as determinações da alcalinidade das amostras de água tratadas com os diferentes coagulantes em estudo.

7.1.4 Características da Potabilidade da Água de Abastecimento

As impurezas contidas na água conferem-na certas propriedades que podem alterar positiva ou negativamente seu aspecto físico, químico e biológico. A qualidade da água é definida através de suas características físicas, químicas e biológicas, avaliadas pela interpretação das análises de parâmetros físicos, químicos e biológicos.

De acordo com Silva (1999, p. 46), as águas destinadas ao consumo e abastecimento devem possuir as seguintes características:

- a) isenta de substâncias químicas prejudiciais à saúde;
- b) adequada para serviço doméstico;
- c) baixa agressividade e dureza, esteticamente agradável, baixa turbidez, cor, sabor e odor, ausência de microrganismos;
- d) baixos teores de sólidos em suspensão;
- e) diminuição da taxa de mortalidade e doenças por veiculação hídrica.

7.1.5 Determinação dos Valores Máximos Admissíveis (VMA)

7.1.5.1 Turbidez

A turbidez na água é devida à presença de substâncias em suspensão e coloidais de origem natural e/ou antropogênica. Representa o grau de interferência à passagem da luz através da água. Tendo como origem natural, a presença de partículas de rocha,

argila e silte, e como origem antropogênica, resíduos industriais, esgotos domésticos e a erosão do solo. Tornou-se o principal parâmetro de rotina para avaliação da eficiência do processo de tratamento de água (não publicado) ²⁴.

Sua determinação é feita por nefelometria e tem como unidade de medida 1 uT (unidades de turbidez). Em águas naturais, seus padrões estão entre 0 a 300 uT e para águas potáveis o valor máximo permitido (VMP) é de 5 uT. Para valores de água bruta menores do que 20 uT, dispensam-se tratamentos completos, exigindo-se apenas filtração lenta. No entanto, para valores superiores a 50 uT é exigido tratamento completo ou pré-filtro. Tem importância estética (confiabilidade), em relação à toxicidade, pois o abrigo de microrganismos pode prejudicar a fotossíntese, bem como o processo de cloração (não publicado) ²⁵.

7.1.5.2 Cor

A cor da água é devida à presença de substâncias dissolvidas e coloidais de origem natural e/ou antropogênica. Como origem natural, duas causas podem ser citadas: a decomposição da matéria orgânica vegetal e a presença de ferro e manganês. Com respeito às causas de origem antropogênica, pode-se citar a presença de resíduos industriais (tecelagem, polpa de papel e tintas) e dos esgotos domésticos. A determinação é feita por comparação visual e sua unidade é uH (unidades Hazen). Os padrões de cor para águas naturais são de 0 a 200 uH e para águas potáveis o valor máximo permitido (VMP) é de 15 uH. Água bruta com valores superiores a 5 uH e inferiores a 25 uH, usualmente dispensam o tratamento completo, exigindo apenas filtração lenta ou rápida. Valores superiores a 25 uH exigem tratamento completo. Tem importância sanitária no aspecto estético (confiabilidade), toxicidade e a cloração da água colorida pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos) (não publicado) ²⁶.

²⁴ Apostila IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

²⁵ Idem.

²⁶ Idem.

7.1.5.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH representa a concentração de íons hidrogênio (H^+), dando uma indicação sobre a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água, permitindo caracterizar as águas de abastecimento na sua forma bruta e tratada. Os fatores que o determinam têm origem natural, como a dissolução de rochas e a fotossíntese dos vegetais, ou são de origem antropogênica, como despejos domésticos e industriais. Para a adequada manutenção da vida aquática o pH deve situar-se geralmente na faixa de 6,0 a 9,0 (não publicado)²⁷.

O valor do pH é determinante em diversas etapas do tratamento de água, como na coagulação e na desinfecção. Além disto o pH contribui para um maior ou menor grau de solubilidade das substâncias, no caso, por exemplo, da dissolução dos metais; definindo também o potencial de toxicidade de vários elementos (não publicado)²⁸.

O pH influencia a qualidade da água tratada, de tal maneira que, para valores baixos de pH, as águas de abastecimento tornam-se mais agressivas e corrosivas. Por outro lado, em pH elevado, há possibilidade do surgimento de incrustações das canalizações. A Portaria MS n. 518/2004 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5 (não publicado)²⁹.

7.1.6 Volume de Lodo

No que se refere às quantidades de lodo formado pelo emprego do sulfato de alumínio, o volume foi estimado através de Viessman e Hammer³⁰. Para a determinação do volume de lodo gerado com o uso dos coagulantes Tanfloc SL e Tanfloc SG foi feita uma adequação da equação usada para o cálculo da quantidade de lodo produzido com o sulfato de alumínio.

²⁷ Apostila **IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público** (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

²⁸ Idem.

²⁹ Idem.

³⁰ **VISSMAN e HAMMER (1998)** citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 ESTUDO PRELIMINAR DA DOSAGEM ÓTIMA

A definição inicial das dosagens usadas para os diferentes coagulantes, através do emprego do *teste de jarros*, partiu de um estudo prévio. Os valores das curvas de dosagem para a determinação das dosagens ótimas de cada coagulante, que foram encontrados à posteriori, devem situar-se dentro da faixa destes valores previamente estabelecidos. A água bruta para este ensaio foi coletada pelo sistema de captação da ETA – Menino Deus a partir do lago Guaíba no dia 28 de maio de 2008 e o ensaio foi realizado no dia seguinte. Sendo que as características físico-químicas da água no dia da captação foram as seguintes: pH igual a 6,65, cor aparente de 140 uH e turbidez de 30,4 uT.

O aparelho para o *teste de jarros* empregado neste e nos demais ensaios deste trabalho é fabricado por Nova Ética – modelo 218/LDB-06 de 60 Hz. Nas duas primeiras cubas foram usadas dosagens de 5 e 10 mg/L do coagulante Tanfloc SL, a partir da diluição de uma solução a 1% preparada com a adição de 1,0016 g deste coagulante em pó, em 100 mL de água destilada. Nas duas cubas seguintes empregou-se o coagulante Tanfloc SG, com a mesmas dosagens anteriores, a partir de solução preparada pela dissolução de 1,0042 g deste coagulante em pó, em 100 mL de água destilada. Nas duas últimas cubas, foi usada uma solução de sulfato de alumínio a 15% fornecido pela ETA - Menino Deus, em diluições, obtendo-se as dosagens de 22,5 mg/L e 30 mg/L, respectivamente.

Os tempos de mistura rápida (dispersão dos coagulantes) e o de mistura lenta (floculação) para este ensaio foram, respectivamente, de 1 min para um gradiente de mistura igual a 150 s^{-1} e 20 min para um gradiente de mistura de 40 s^{-1} a 46 s^{-1} . Sendo que, após os tempos decorridos para este ensaio e observada a formação dos flocos, foram deixados transcorrer mais 30 min até se completar a fase de decantação.

Para a determinação dos valores de pH da água tratada com cada um dos coagulantes estudados, assim como nos ensaios realizados posteriormente, foi utilizado o aparelho

modelo DMPH-2 fabricado pela empresa DIGIMED. A turbidez da água tratada foi determinada através da utilização do turbidímetro de modelo B250 da Micronal e a cor aparente foi determinada a partir do uso de aparelho conhecido como colorímetro modelo *Aqua Tester* da marca Orbeco-Hellige. Sendo que, os valores obtidos de pH, da turbidez e da cor, da água tratada pelos coagulantes citados acima, são mostrados no quadro 3. As variações desses parâmetros ficam melhores evidenciadas, em termos comparativos, através do gráfico (figura 8).

Quadro 3 – Estudo Preliminar das Dosagens

Cubas (2L)	Coagulante	VOLUME (mL)	Dosagem (mg/L)	Aspecto do Floco	pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)
1	SL	1	5	Pouca formação	6,50	100	19,5
2	SL	2	10	Médios	6,40	70	12,2
3	SG	1	5	Formação desprezível	6,54	100	19,0
4	SG	2	10	Poucos	6,67	120	18,8
5	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,3	22,5	Médios - ótima formação	6,44	20	2,38
6	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,4	30	Médios - ótima formação	6,04	15	1,47

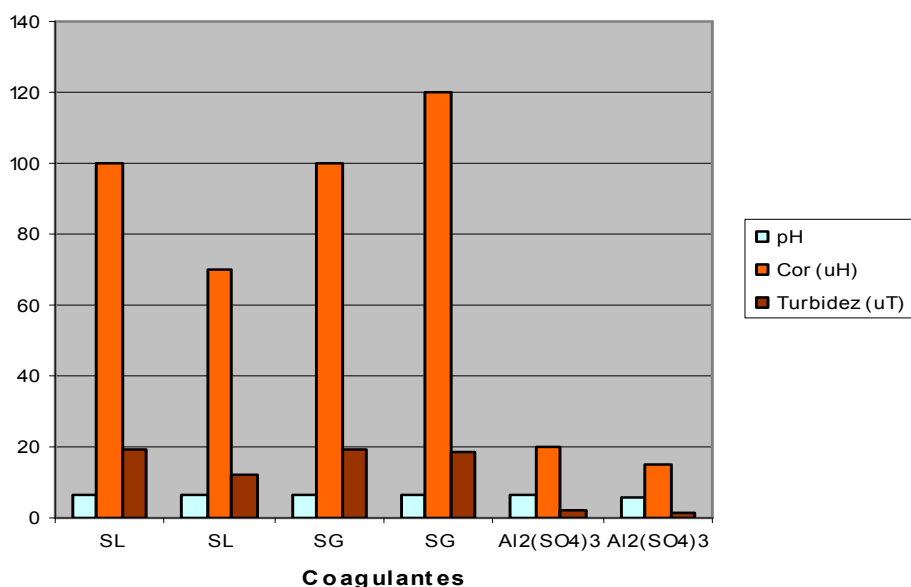


Figura 8 – Estudo Preliminar das Dosagens

8.2 CURVAS DE DOSAGEM

8.2.1 Curva de Dosagem do Tanfloc SL

A coleta da água bruta originada do lago Guaíba utilizada para a determinação da curva de dosagem para o coagulante Tanfloc SL foi feita dia 3 de junho de 2008, para que este ensaio fosse realizado no dia seguinte. Suas características físico-químicas apresentaram valores de pH em 6,6, de cor, 100 uT e de turbidez, 20 uH. Este ensaio, assim como todos os demais realizados posteriormente, foi feito nos dias seguintes aos de coleta da água bruta.

Neste ensaio, preparou-se uma solução aquosa a 1% , onde foram dissolvidos 1,0010 g do coagulante Tanfloc SL, em pó. Em seguida, foram acrescentados diferentes volumes deste coagulante em cada uma das seis cubas do *teste de jarros*, de forma a obter as diferentes dosagens, como é mostrado a seguir através do quadro 4. Foram adotados como tempo de mistura rápida e de mistura lenta, respectivamente, os valores de 1 min com gradiente de 150 s^{-1} a 153 s^{-1} e 20 min para um gradiente de mistura de 40 s^{-1} a 43 s^{-1} .

Os valores da remoção dos parâmetros cor e turbidez, assim como a determinação do pH da água tratada, depois de realizado o ensaio, também são mostrados através do quadro 4. Observou-se que, para os valores de diluição do coagulante Tanfloc SL de 20 mg/L e de 25 mg/L, respectivamente nas cubas 4 e 5, são estes que apresentaram maior redução de cor e turbidez. Valores estes que obedecem àqueles recomendados pela Resolução MS n. 518/2004. Portanto, a partir da análise da curva de dosagem para este coagulante, foi adotado o valor de dosagem ótima como sendo de 20 mg/L, o que corresponde à adição de 4 mL de uma solução a 1% a um volume de água bruta de 2 L (volume de cada cuba do teste de jarros).

Cubas (2L)	Goagulante	Volume (mL)	Dosagem (mg/L)	Aspecto do Floco	pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)
1	SL	1	5	Pouca clarificação	6,58	80	22
2	SL	2	10	Flocos médios	6,59	50	1,4
3	SL	3	15	Flocos grandes	6,55	5	1,5
4	SL	4	20	Grande floculação	6,53	5	1
5	SL	5	25	Grande floculação	6,54	5	1,3
6	SL	6	30	Grande floculação	6,37	5	1,5
	Amostra Bruta				6,60	100	20

Quadro 4 – Curva de Dosagem do Coagulante SL

Os valores da curva de dosagem do coagulante SL são mostrados, de forma comparativa através do gráfico mostrado na figura 9.

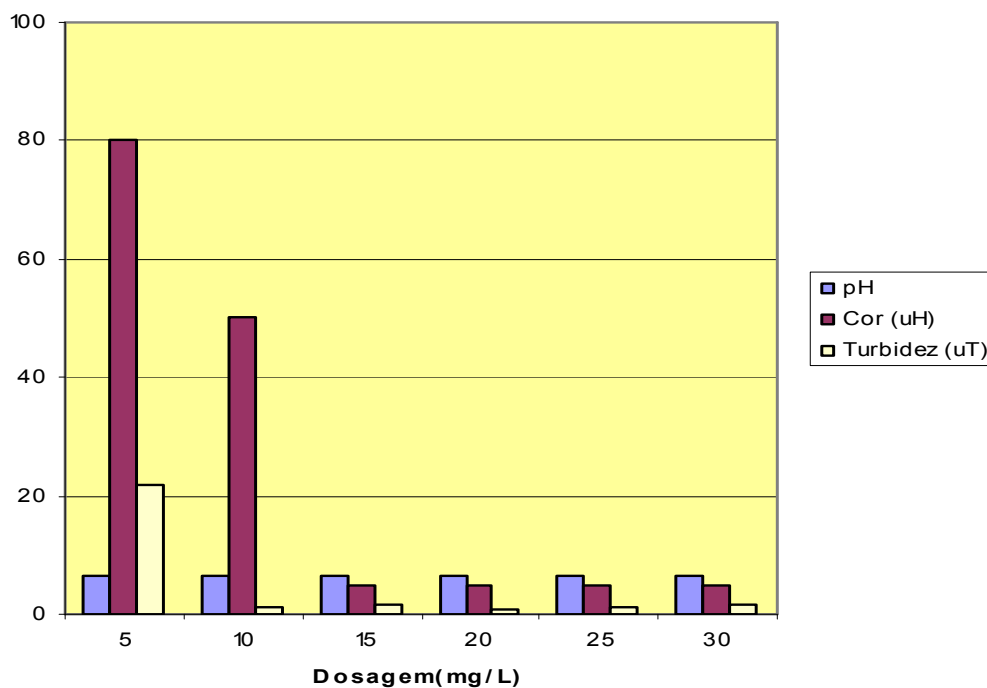


Figura 9 – Curva de Dosagem do Coagulante Tanfloc SL

Para a avaliação do volume de lodo formado durante a fase de coagulação/ floculação da água bruta e a posterior decantação dos flocos formados pelo uso do coagulante Tanfloc SL, assim como nos ensaios seguintes, empregou-se o cone de Imhoff. A partir das amostras das cubas 3 e 4, obtiveram-se os valores de 6,5 e 7,0 mL/L/h. Estes valores poderão ser avaliados, considerando a vazão de instalação de uma estação de tratamento de água.

8.2.2 Curva de Dosagem do Tanfloc SG

No ensaio, que permitiu a construção da curva de dosagem deste produto, partiu-se da preparação de uma nova solução aquosa a 1%, diluindo-se 1,0005 g do coagulante orgânico Tanfloc SG na forma de pó em 100 mL. As seis cubas do *teste de jarros*, com capacidade volumétrica de 2 L cada uma, foram completadas com a água coletada do lago Guaíba pela ETA – Menino Deus no dia anterior à realização deste ensaio, que foi feito dia 11 de junho de 2008. Sendo que as características físico-químicas da água bruta no dia coleta são: pH de 6,7, turbidez de 41 uT e alcalinidade de 22 mg/L medida em termos de CaCO₃. Foram adotados como tempo de mistura rápida e de mistura lenta, respectivamente, os valores de 1 min com gradiente de 150 s⁻¹ e 20 min para um gradiente de mistura de 40 s⁻¹.

À cada uma das seis cubas, foram acrescentados diferentes volumes da solução a 1% do coagulante em estudo, obtendo-se dosagens diferentes. Os valores de cada dosagem, assim como os respectivos valores obtidos para pH, cor e turbidez da água tratada com o coagulante Tanfloc SG, são mostrados a seguir através quadro 5.

Assim como no ensaio para o coagulante Tanfloc SL, a partir da análise da curva de dosagem do coagulante Tanfloc SG (figura 10), foi adotado o valor de dosagem ótima como sendo de 20 mg/L, o que corresponde à adição de 4 mL de uma solução a 1% ao volume da cuba. Este valor de dosagem permite uma remoção de cor e turbidez dentro dos padrões de potabilidade da água tratada que são estabelecidos pela Resolução em vigor.

A partir das amostras das cubas 3 e 4, através do emprego do cone de Imhoff, obteve-se o volume de lodo formado durante a fase de coagulação/ floculação da água bruta. Os valores encontrados são de 6,3 e 7,0 mL/L/h.

Cubas (2L)	Coagulante	Volume (mL)	Dosagem (mg/L)	Aspecto do Floco	pH	Cor (uH)	Turbidez (uT)
1	SG	1	5	Sem flocos	6,70	120	25
2	SG	2	10	Flocos pequenos	6,68	40	4,8
3	SG	3	15	Flocos pequenos	6,62	20	0,9
4	SG	4	20	Flocos Grandes	6,61	10	0,9
5	SG	5	25	Flocos Grandes	6,58	10	1,1
6	SG	6	30	Flocos Grandes	6,54	30	4,3
	Amostra Bruta			Alcalinidade. 22	6,70		41

Quadro 5 – Curva de Dosagem do Coagulante SG

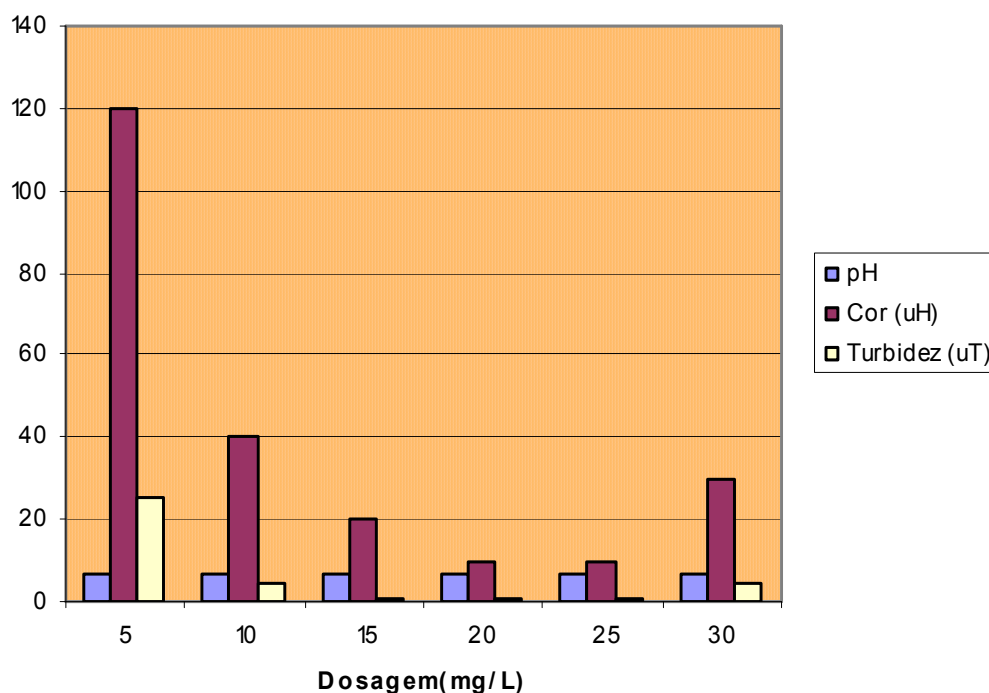


Figura 10 – Curva de Dosagem do Coagulante SG

8.3 DETERMINAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO COAGULANTE COM A VARIAÇÃO DO pH

Um dos fatores que interfere na eficiência do processo de coagulação/floculação é o pH final da mistura. A concentração dos íons hidrogênio não só governa a carga das impurezas coloidais presentes, mas também determina a natureza dos produtos de hidrólise formados. A coleta da água bruta, usada para o estudo do comportamento dos coagulantes de origem vegetal Tanfloc SL e SG com a variação do pH, foi feita no dia 17 de junho de 2008 e no dia seguinte, o ensaio. A água bruta chegou da coleta com pH igual a 6,6.

Para este ensaio escolheram-se três valores iniciais de pH: iguais a 5,0, 6,6 e 9,0. Sendo que foram preparadas novas soluções a 1% dos coagulantes Tanfloc SL e SG. Foram dissolvidos 1,0013g do primeiro e 1,0023g do segundo coagulante em 100mL de água. Para a mistura rápida (dispersão do coagulante) usou-se o gradiente 150 s^{-1} (1 min) e

para a mistura lenta (floculação), 40 s^{-1} (20 min). Os resultados obtidos neste ensaio são mostrados na quadro 6.

Goagulante	Volume (mL)	Dosagem (mg/L)	pH inicial	pH final	Aspecto do Floco	Cor (uH)	Turbidez (uT)
SL	4	20	5,0	4,77	Flocos médios	20	1,2
SL	4	20	6,6	6,07	Flocos grandes	15	1,5
SL	4	20	9,0	8,02	Água turvada	140	25
SG	4	20	5,0	4,9	Mistura turva, sem coagulação	120	27
SG	4	20	6,6	6,26	Flocos grandes	10	0,7
SG	4	20	9,0	8,31	Flocos pequenos	50	27

Quadro 6 – Determinação do Comportamento do Coagulante com a Variação do pH

Portanto, verificou-se que, tanto o coagulante Tanfloc SL, como o Tanfloc SG apresentaram maior eficiência de remoção da cor e turbidez com o valor de pH igual a 6,6, sendo que o pH da água, após a decantação, diminuiu a valores iguais a 6,07 e 6,26, respectivamente. Com pH inicial de 5,0 e 9,0 não se verifica remoção de cor e turbidez dentro de valores recomendáveis pela Resolução n. 518/2005 (figura 11). Como o coagulante não consome alcalinidade do meio onde atua, o pH da água de abastecimento fica praticamente inalterado. Os valores, encontrados neste experimento, situam-se na faixa de atuação de pH que é referida na descrição dos produtos pelo fabricante como ideal: entre 7,0 a 8,0.

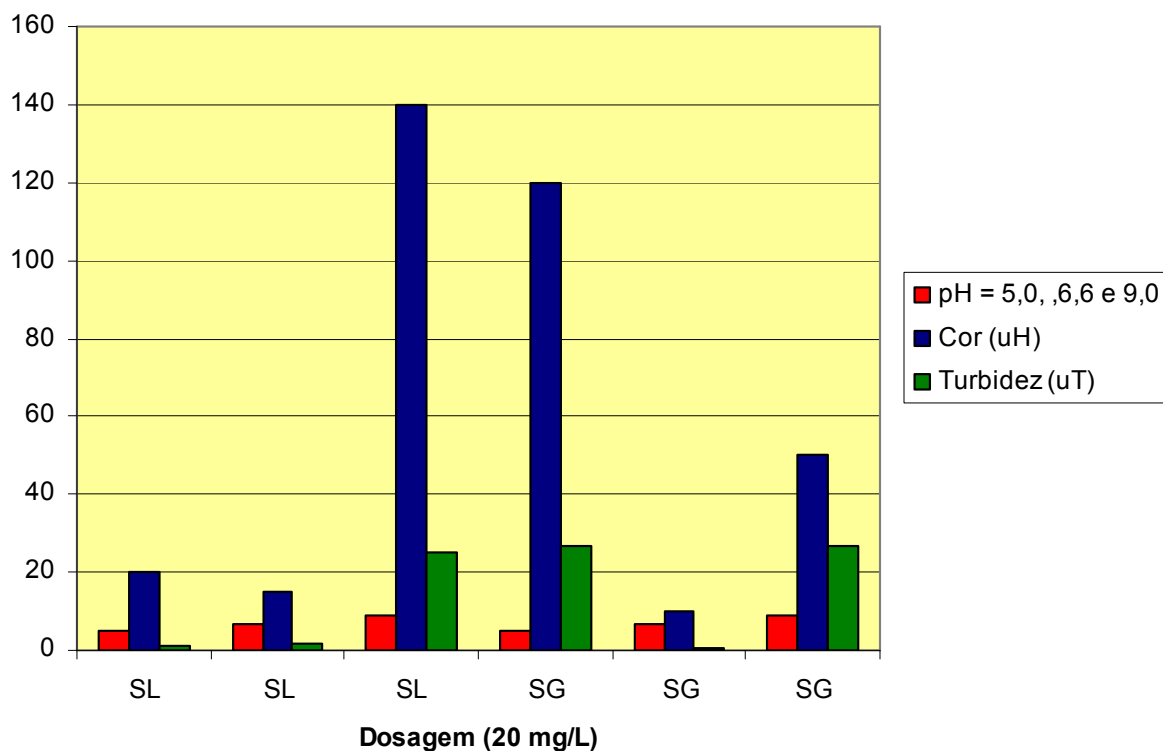


Figura 11 – Comportamento dos Coagulantes Tanfloc SL e Tanfloc SG com a Variação do pH

8.4 DETERMINAÇÃO DAS VARIAÇÕES DA ALCALINIDADE

O objetivo da realização deste ensaio foi a verificação do efeito tampão da alcalinidade que pode atuar no emprego dos diferentes coagulantes estudados. No caso do uso do sulfato de alumínio, como suas moléculas se hidrolisam quando em solução aquosa, os íons de alumínio hidratado $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ atuam como ácidos de Brønsted-Lowry. As bases que constituem a alcalinidade, presente na água na forma de compostos de bicarbonato (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidroxilas (OH^-) são mais fortes do que a água (H_2O), assim o cátion $[Al(H_2O)_6]^{3+}$ reagirá sempre antes com estas do que com as moléculas de água, havendo um consumo de alcalinidade e conseqüente abaixamento de pH, caso não haja alcalinidade suficiente ao processo. Além disso, estas reações geram ácidos fracos, ao contrário da reação com a água quando é formado o H_3O^{3+} (cátion hidrônio), ácido extremamente forte, levando a uma brusca queda do pH,

comprometendo assim a eficiência do processo. A alcalinidade atua como tampão ou solução amortizadora da queda brusca do pH (não publicado) ³¹.

Deste modo, como se evidencia através deste ensaio (quadro 7), há um consumo de alcalinidade quando da utilização do sulfato de alumínio como coagulante. Por outro lado, a utilização dos coagulantes Tanfloc SL e Tanfloc SG indica, pelos valores obtidos, um consumo muito pequeno da alcalinidade da água bruta durante o processo de clarificação.

A coleta da água para uso neste ensaio ocorreu no dia 25 de junho de 2008, sendo que este foi realizado no dia seguinte à coleta. As características físico-químicas da água usada neste ensaio são: alcalinidade de 21,0 mg/L, pH igual a 6,5 e turbidez em 26 uT.

Para a mistura rápida (dispersão do coagulante) adotou-se o valor do gradiente igual a 150 s^{-1} (1 min) e para a mistura lenta (floculação), 40 s^{-1} (20 min). As soluções usadas para os coagulantes são as mesmas preparadas no ensaio anterior, no caso do Tanfloc SL e Tanfloc SG. Da mesma forma, para o sulfato de alumínio foi usada a solução fornecida pela ETA – Menino Deus.

A alcalinidade foi determinada por titulometria. Utilizou-se uma solução padrão de H_2SO_4 (0,02 N). Os volumes gastos da solução de ácido sulfúrico, assim como os valores calculados pela fórmula 3, são mostrados através do quadro 7.

$$(V \times N \times f \times 50\,000) / 100 = (V \times 1,052 \times 10) \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

V = volume de H_2SO_4 gasto na titulação;

N = Normalidade da solução padrão de ácido sulfúrico;

f = fator de correção da Normalidade, igual a 1,052.

³¹ Apostila IPH – Tratamento de Água, Coagulação-Floculação: Conceitos Teóricos e Aplicações Práticas em Estações de Água para Abastecimento Público (Pontos 3 e 4), de autoria da Prof.a Carmen Castro, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Cubas (2L)	Goagulante	Volume (mL)	Dosagem (mg/L)	Volume gasto (mL) H ₂ SO ₄ (0,02N)	Alcalinidade (mg/L)
1	SL	4	20	1,6	16,832
2	SL	4	20	1,7	17,884
3	SG	4	20	1,7	17,884
4	SG	4	20	1,6	16,832
5	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,4	30	0,9	9,468
6	Al ₂ (SO ₄) ₃	0,4	30	0,7	7,364

Quadro 7 – Determinação das Variações da Alcalinidade

Assim, pode-se traçar, através do gráfico (figura 12) correspondente aos dados obtidos do quadro acima, uma visão comparativa da variação da alcalinidade para os diferentes coagulantes estudados neste trabalho de pesquisa. A determinação dos valores de alcalinidade para cada um dos coagulantes foi repetida por duas vezes, para que se verificassem possíveis desvios de leitura nos resultados.

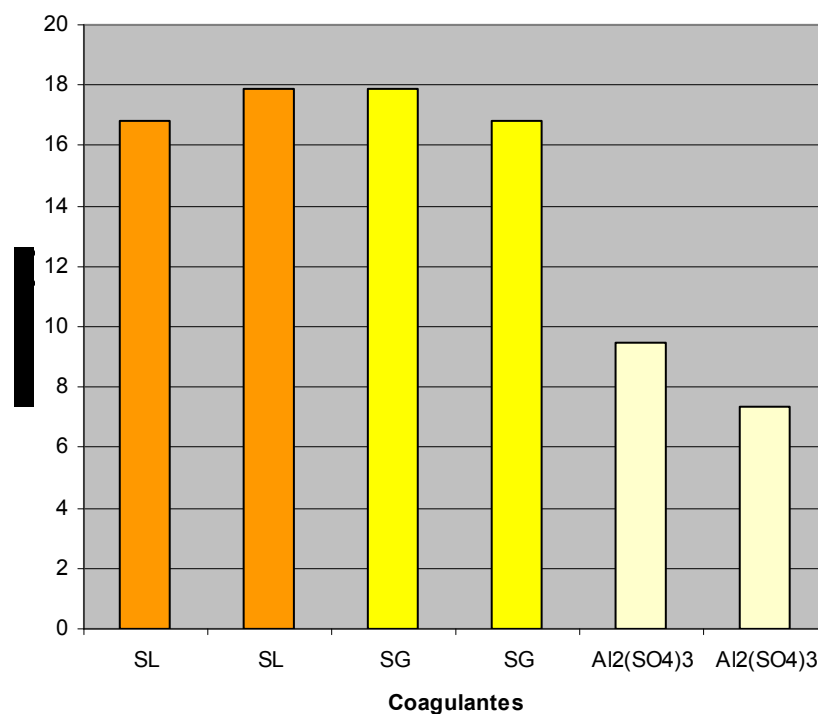


Figura 12 – Estudo Comparativo da Variação da Alcalinidade

8.5 VARIAÇÃO DO TEMPO DE MISTURA LENTA – FLOCULAÇÃO

Este ensaio foi realizado no dia 1 de julho 2008, um dia após a coleta da água bruta. Os valores dos parâmetros determinados para água bruta são: alcalinidade 23 mg/L, pH igual a 6,6, turbidez igual a 23 uT e cor igual a 23 uH.

Empregaram-se as mesmas de soluções dos coagulantes SL e SG (1%), usadas no ensaio anterior. Como gradiente de mistura rápida (dispersão do coagulante): 150 s^{-1} no tempo de 1 min. As variações dos tempos de mistura lenta, com gradiente fixado em 40 s^{-1} e emprego da dosagem ótima para cada coagulante, assim como os demais valores obtidos para os parâmetros pH, turbidez e cor, são mostrados através do quadro 8. De acordo com estes valores, pode-se concluir que a um tempo de mistura lenta de 30 min, com o uso do sulfato de alumínio na remoção da turbidez e da cor, há uma maior eficiência (figura 13). Já, para os coagulantes Tanfloc SL e SG, ocorre maior remoção de cor e turbidez a um tempo de mistura igual a 40 min. Em relação ao pH da água tratada, nota-se que, apenas no caso do uso do sulfato de alumínio com coagulante, há uma redução destes valores.

Tempo de Mistura Lenta (min)	Coagulante	Parâmetros		
		pH	Turbidez (uT)	Cor (uH)
10	SG	6,50	2,5	20
	SL	6,48	1,8	15
	Al ₂ (SO ₄) ₃	5,94	3,0	20
20	SG	6,60	1,8	10
	SL	6,49	1,4	5
	Al ₂ (SO ₄) ₃	5,99	2,0	10
30	SG	6,60	1,7	5
	SL	6,65	1,4	10
	Al ₂ (SO ₄) ₃	6,02	1,9	10
40	SG	6,60	1,2	5
	SL	6,68	1,1	5
	Al ₂ (SO ₄) ₃	6,00	3,6	20
Água Bruta		6,60	23	23

Quadro 8 – Variação do Tempo de Mistura Lenta – Floculação (min)

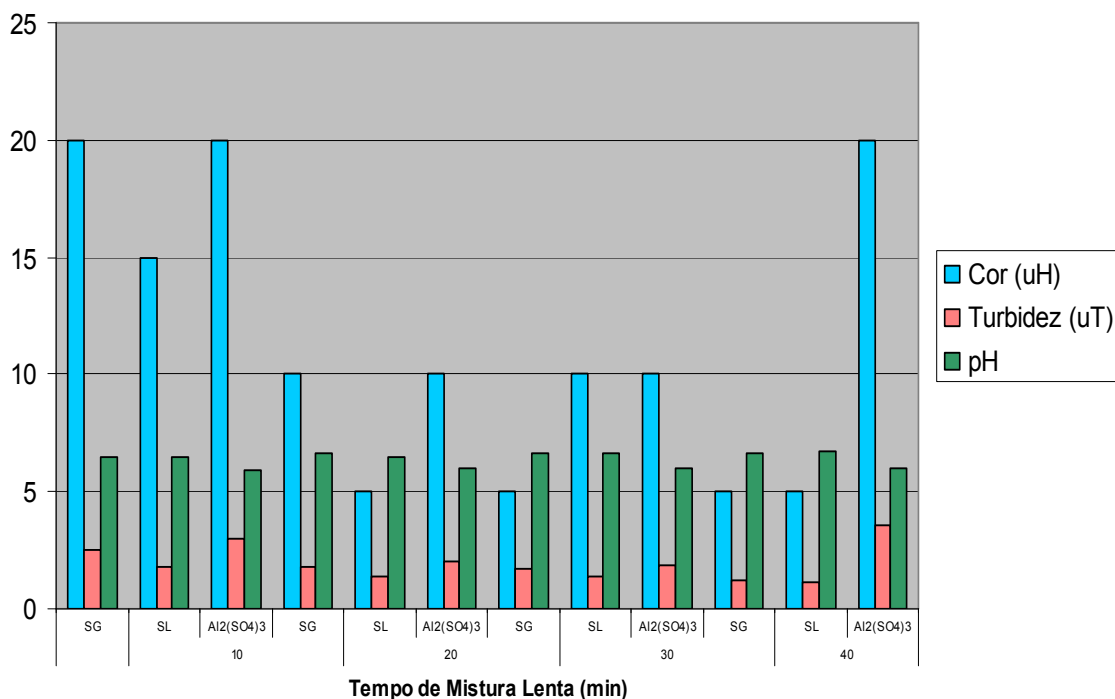


Figura 13 – Variação do Tempo de Mistura Lenta /Floculação

8.6 VARIAÇÃO DO GRADIENTE – MISTURA LENTA

O ensaio sobre a variação do gradiente da mistura lenta – fase de floculação – foi realizado no dia 8 de julho 2008 e a coleta da água, no dia anterior. Sendo que os valores dos parâmetros da água coletada são: alcalinidade em 23 mg/L, pH em 6,1, turbidez em 30 uT e cor em 100 uH.

Utilizou-se das mesmas de soluções dos coagulantes SL e SG (1%), já preparadas anteriormente. Para a mistura rápida (dispersão do coagulante) adotou-se o gradiente de 150 s^{-1} (1 min). Para avaliar a eficiência do processo na fase de floculação, no que se refere à variação do gradiente da mistura lenta, adotou-se os valores de 20, 30, 40 e 50 s^{-1} por um período de tempo de 20 min contados para cada um destes gradientes. A conversão dos valores da rotação dos agitadores em RPM do aparelho utilizado para o ensaio do *teste de jarros*, a valores de gradientes em s^{-1} , é feita considerando o emprego o gráfico fornecido pelo fabricante (figura 14).

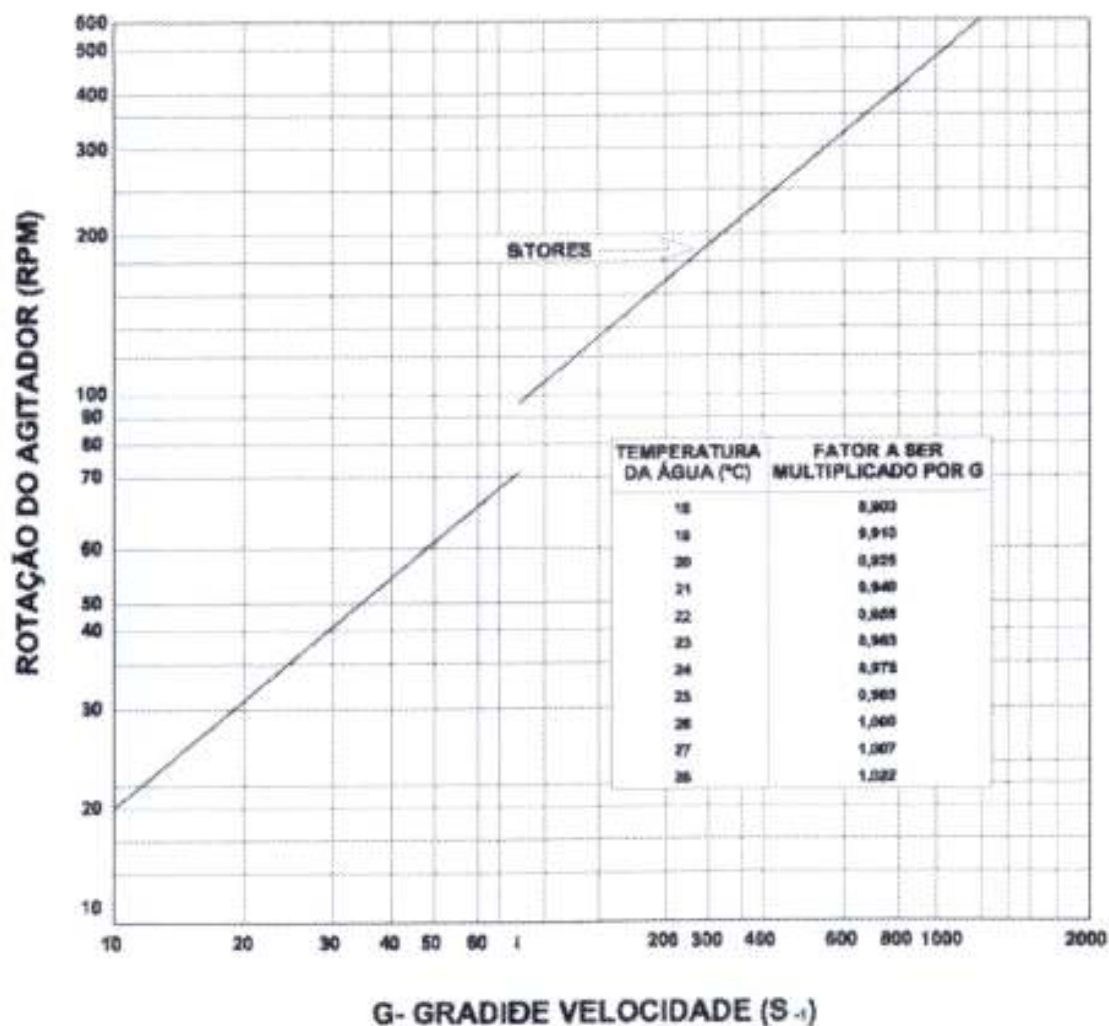


Figura 14 – Gráfico de Conversão da Rotações do Agitador em Gradientes

Os dados correspondentes aos valores do gradiente, obtidos para cada coagulante utilizado, estão plotados, através da figura 15.

Verifica-se que, quando se adota um gradiente de 50 s^{-1} , ocorre melhor remoção de cor e turbidez no tratamento das amostras de água bruta. Os valores obtidos com a variação dos gradientes são mostrados no quadro 9.

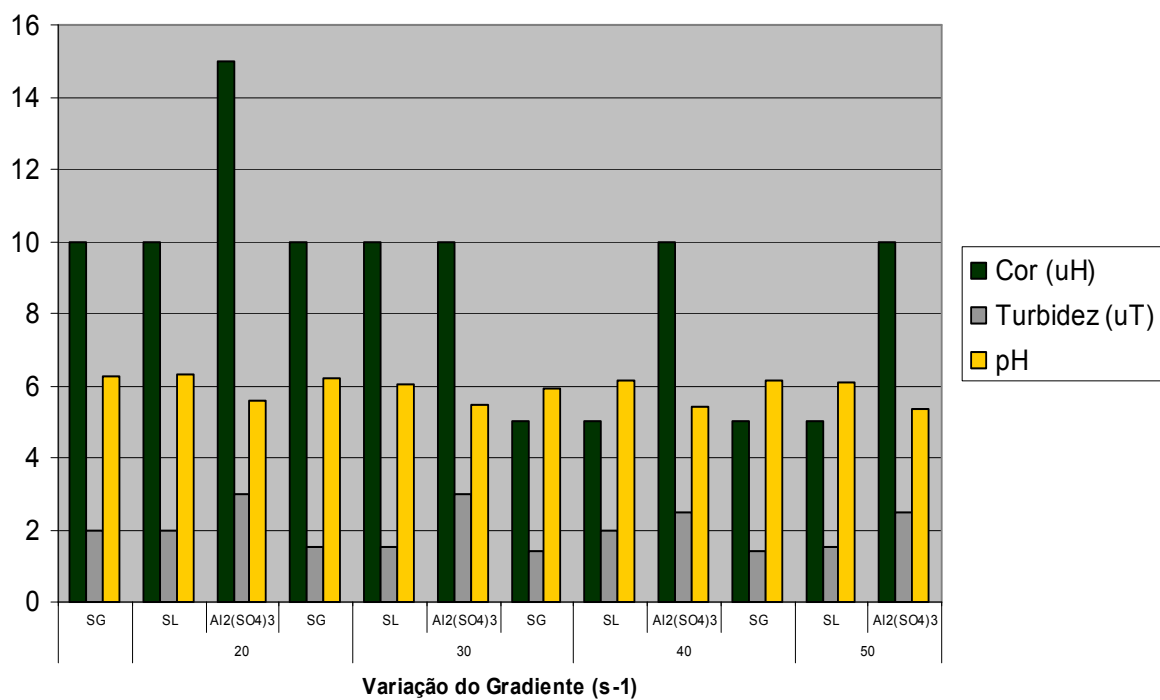


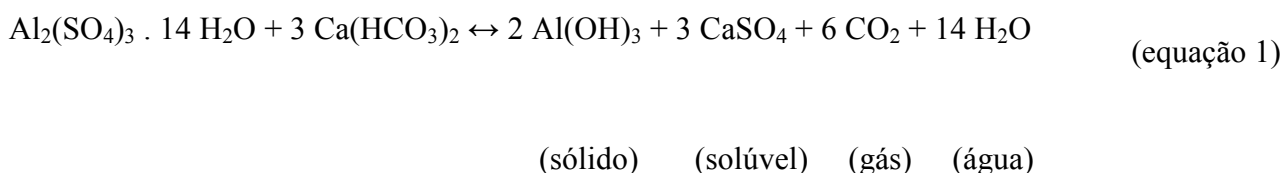
Figura 15 – Variação do Gradiente na Fase da Mistura Lenta/Floculação

Gradiente (s ⁻¹)	Rotação (RPM)	Coagulante	Parâmetros		
			pH	Turbidez residual (uT)	Cor (uH)
20	30	SG	6,24	2,0	10
		SL	6,30	2,0	10
		Al ₂ (SO ₄) ₃	5,58	3,0	15
30	40	SG	6,22	1,5	10
		SL	6,04	1,5	10
		Al ₂ (SO ₄) ₃	5,49	3,0	10
40	55	SG	5,90	1,4	5
		SL	6,16	2,0	5
		Al ₂ (SO ₄) ₃	5,42	2,5	10
50	60	SG	6,16	1,4	5
		SL	6,11	1,5	5
		Al ₂ (SO ₄) ₃	5,33	2,5	10
Água Bruta			6,31	30	100

Quadro 9 - Variação do Gradiente (s⁻¹) – Mistura Lenta / Floculação

8.7 DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE LODO FORMADO

Com relação à utilização do coagulante sulfato de alumínio, podemos fazer uma estimativa da quantidade de resíduos formados, baseado no que se refere a esse assunto Viessman e Hammer (1998)³². O volume resultante da adição de sulfato de alumínio à água pode ser estimado a partir da reação química entre o sulfato e alcalinidade da água (Eq. 1).



De acordo com a estequiometria desta reação, 594 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ formam 156 g de $2 \text{Al}(\text{OH})_3$, ou seja, para 1,0 g de sulfato de alumínio usado como coagulante, 0,26 g de hidróxido de alumínio é formado. Viessman e Hammer (1998)³³ comentam que a relação observada na prática é de 0,44 g de $2 \text{Al}(\text{OH})_3$ para cada 1,0 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ adicionado. Além de hidróxido de alumínio, o lodo conterà os sólidos removidos da água. De acordo com os autores citados, a relação entre turbidez da água bruta expressa em unidades nefelométricas de turbidez (uT) e a massa dos sólidos removidos varia entre 0,5 a 2,0 mg / uT, com valor médio de 0,75 mg / uT.

No caso do uso da dosagem de sulfato de alumínio adotada neste trabalho como dosagem ótima, que é de 30 mg/L, para coagular uma água bruta contendo turbidez de 40 uT e com o mesmo volume de água tratada considerada para os outros coagulantes estudados (Tanfloc SL e Tanfloc SG), uma estimativa da quantidade de lodo gerado é:

$$\text{Volume diário de água tratada} = 2,1 \text{ m}^3/\text{s} \times 86\,400 \text{ s/dia} = 181\,440 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Quantidade diária de lodo =

$$= [(40 \text{ uT} \times 0,75 \text{ mg sólidos / uT}) + (30 \text{ mg / L } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O} \times 0,44 \text{ mg sólidos / mg } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O})] \times 181\,440 \text{ m}^3/\text{dia} = 7\,838,21 \text{ kg/dia}$$

³² VIESSMAN e HAMMER (1998) citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

³³ Idem.

Admitindo-se que a massa específica do lodo resultante da aplicação de sulfato de alumínio seja de 1,03 kg/L (THOMPSON e PAULSON, 1998)³⁴, o volume de lodo formado será:

$$7\,838,21 \text{ kg/dia} \div 1,03 \text{ kg/L} = 7\,609,91 \text{ L/dia} = 7,61 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Da mesma forma, utilizando-se de dados obtidos por Vanacôr (2005, p. 101) em estudo realizado na ETA – Novo Hamburgo, pode-se estimar a quantidade de lodo formado utilizando-se os coagulantes Tanfloc SL e SG, que são produtos similares ao coagulante orgânico *Veta Organic*, utilizado naquela estação de tratamento de água. De acordo com as suas considerações é possível fazer um comparativo entre o cálculo da quantidade de lodo formado com o uso do sulfato de alumínio e com o coagulante *Veta Organic*. Para a determinação da parcela de lodo produzido na ETA – Novo Hamburgo em função da adição do *Veta Organic* foi feita uma adequação da equação usada anteriormente para o cálculo da quantidade de lodo produzido com o sulfato de alumínio. Analogamente, com relação ao emprego dos coagulantes estudados no presente trabalho, utilizou-se da mesma equação para o cálculo do volume de lodo produzido.

Quantidade diária de lodo =

$$= [(40 \text{ uT} \times 0,75 \text{ mg sólidos / uT}) + (20 \text{ mg / L Tanfloc SL/SG} \times \Delta \text{ mg sólidos / mg Tanfloc SL/SG})] \times 181\,440 \text{ m}^3/\text{dia} = 6\,640,70 \text{ kg/dia}$$

Onde: $\Delta = 0,33 \text{ mg sólidos / mg Tanfloc SL/SG}$, valor este determinado por Vanacôr (2005, p. 101) para o coagulante *Veta Organic*. Ou seja, para cada grama de coagulante adicionado forma 0,33 g de sólido.

Admitindo-se que a massa específica do lodo pastoso resultante da aplicação de coagulante seja de 1,032 kg/L (VANACÔR, 2005, p. 99). O volume de lodo formado será de: $6\,640,70 \text{ kg/dia} \div 1,032 \text{ kg/L} = 6\,434,79 \text{ L/dia} = 6,43 \text{ m}^3/\text{dia}$

Portanto, os coagulantes Tanfloc SL e Tsnfloc SG produziram 15,5% a menos de lodo do que a produção estimada para o sulfato de alumínio.

³⁴ THOMPSON e PAULSON (1998) citado por Benetti na apostila **Manuseio, Tratamento e Disposição de Resíduos Gerados no Tratamento de Água**, de autoria da Prof. Benetti, utilizada na disciplina de Tratamento de Água, do curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

8.8 COMPARATIVO DOS CUSTOS

Tabela 3 – Custos em insumos químicos envolvidos no tratamento da água em uma ETA

Tratamento com sulfato de alumínio

Custo de sulfato de alumínio:

$$30 \text{ mg L}^{-1} \times 482,50 \text{ R\$ ton}^{-1} \times (1 \text{ ton } 10^9 \text{ mg}^{-1}) \times (1 \text{ L } 10^{-3} \text{ m}^{-3}) = 0,014475 \text{ R\$ m}^{-3}$$

O custo do cal, que deveria ser acrescentado no caso de o tratamento da água ser com sulfato de alumínio, não foi considerado.

Custo total de tratamento com sulfato de alumínio: 0,014475 R\$ m⁻³

Custo estimado em insumos: $0,014475 \text{ R\$ m}^{-3} \times 181\,440 \text{ m}^3/\text{dia} \times 30 \text{ dias mês}^{-1} = \text{R\$ } 78\,790,32 \text{ mês}^{-1}$

Tratamento com taninos catiônicos

Tratamento com Tanfloc SL

Custo do tanino:

$$20 \text{ mg L}^{-1} \times 1,26 \text{ R\$ kg}^{-1} \times (1 \text{ kg} / 1\,000\,000 \text{ mg}) \times (1 \text{ L} / 0,001 \text{ m}^3) = 0,0252 \text{ R\$ m}^{-3}$$

Custo de cal ou ácido = 0,00 R\$ m⁻³ (uso desnecessário).

Custo total de tratamento com tanino: 0,0252 R\$ m⁻³

Custo estimado em insumos:

$$0,0252 \text{ R\$ m}^{-3} \times 181\,440 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias mês}^{-1} = \text{R\$ } 137\,168,64 \text{ mês}^{-1}$$

Tratamento com Tanfloc SG

Custo do tanino:

$$20 \text{ mg L}^{-1} \times 1,66 \text{ R\$ kg}^{-1} \times (1 \text{ kg} / 1\,000\,000 \text{ mg}) \times (1 \text{ L} / 0,001 \text{ m}^3) = 0,0332 \text{ R\$ m}^{-3}$$

Custo de cal ou ácido = 0,00 R\$ m⁻³ (uso desnecessário).

Custo total de tratamento com tanino: 0,0332 R\$ m⁻³

Custo estimado em insumos:

$$0,0332 \text{ R\$ m}^{-3} \times 181\,440 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 30 \text{ dias mês}^{-1} = \text{R\$ } 180\,714,24 \text{ mês}^{-1}$$

9 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do que foi tratado na revisão bibliográfica sobre o tema, assim como no desenvolvimento dos ensaios comparativos entre o sulfato de alumínio e os coagulantes orgânicos de origem vegetal Tanfloc SL e Tanfloc SG, que podem ser empregados no tratamento da água de abastecimento humano, foi possível tirar as conclusões necessárias. Levando-se em consideração às limitações deste trabalho, a alternativa proposta indicou possibilidades com relação à minoração dos impactos ambientais causados pelo próprio processo de tratamento convencional, nos corpos d'água utilizados na captação pelas estações de tratamento. Por outro lado, as conseqüências de ordem econômica e de saúde pública, geradas por este processo de tratamento, também devem ser consideradas.

Há o benefício da eliminação de sais metálicos no tratamento, gerando um lodo com teor isento de alumínio. O lodo formado pela adição de coagulantes orgânicos derivados do tanino é passível de aplicação direta na agricultura ou em compostagem.

De acordo com a literatura, há satisfação do consumidor em relação à diminuição da cor amarelada causada pela presença residual de ferro na água tratada. Já que o tratamento convencional com sulfato de alumínio não reduz o ferro nos índices desejados.

Há melhora na eficiência de coagulação/floculação com os coagulantes orgânicos, em relação ao sulfato de alumínio. Durante os ensaios, observou-se a formação de flocos maiores, aparentemente de maior massa específica. A remoção de cor e da turbidez, em mesmas condições de ensaio é evidenciada.

Em termos da legislação vigente, os produtos coagulantes de origem vegetal dão à água tratada as características físico-químicas recomendadas, em relação aos parâmetros de cor e turbidez. Desta forma, o emprego destes produtos atende aos padrões de potabilidade da água para o consumo humano.

A operação da estação de tratamento pode ser simplificada com o uso de coagulantes orgânicos, pois a dosagem do produto é única. Portanto, há a possibilidade de

eliminação de mão de obra na preparação de insumos, sem a necessidade de preparação de bateladas de insumos.

Quando da utilização do sulfato de alumínio como coagulante, durante o processo de clarificação há um consumo de alcalinidade na mistura. Já, no caso do emprego dos coagulantes Tanfloc SL e Tanfloc SG, o consumo da alcalinidade da água bruta durante o processo não é significativo, o que é evidenciado pelos valores obtidos. Portanto, desta maneira, há uma eliminação de consumo de produtos alcalinizantes e auxiliares de coagulação, como o de cal hidratada, por exemplo.

Ao contrário do uso do sulfato de alumínio, não houve necessidade de correção prévia do pH da água bruta com o uso dos coagulantes Tanfloc SL e SG. Como os coagulantes orgânicos não consomem alcalinidade do meio onde atuam, o pH da água de abastecimento fica praticamente inalterado.

Sobre os parâmetros de projeto, verificou-se que os valores obtidos coincidem com os adotados para o dimensionamento das unidades de mistura de estações de tratamento que empregam o sulfato de alumínio.

Com relação aos gradientes de mistura, verificou-se que a adoção de um gradiente de 50 s^{-1} , significa melhor remoção de cor e turbidez no tratamento das amostras de água bruta. O comportamento dos coagulantes orgânicos e do sulfato de alumínio, frente à variação deste parâmetro de projeto, é o mesmo.

No que diz respeito ao volume de lodo formado, há uma redução de 15,5 % nas quantidades estimadas para os coagulantes Tanfloc SL e Tanfloc SG em relação ao da quantidade de lodo gerado pela coagulação da água com o sulfato de alumínio.

Com respeito ao comparativo de custos, os valores obtidos indicam que os gastos com o emprego dos coagulantes orgânicos ficam em torno de 42 % e 56 % maiores do que com o uso do sulfato de alumínio. No entanto, deve-se considerar que haverá uma redução destes custos por não ser necessário o acréscimo de outros produtos no processo de tratamento da água. Assim como também haverá, desta forma, uma redução da energia gasta, pois o processo de tratamento torna-se mais simples.

De acordo com trabalhos já referidos na revisão bibliográfica, as instalações das estações não necessitam de alterações físicas quando da substituição do sulfato de alumínio como coagulante.

REFERÊNCIAS

ABOY, N. **Secagem natural e disposição final de lodos de estações de tratamento de água**. 1999. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BRASIL. Lei Federal n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil/Leis/L6938org.htm>. Acesso em 12 out. 2008.

_____. Lei Federal n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm. Acesso em 12 out. 2008.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria n. 518**, de 25 março de 2004 – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005a. Disponível em: http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_518_2004.pdf. Acesso em 10 jun. 2008.

_____. Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005 – Brasília, 2005b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em 12 out. 2008.

CRUZ, J. G. H; MENEZES, J. C. S. S.; RUBIO, J.; SCHNEIDER, I. A. H. Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande, **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro. ABES, 2005. Disponível em: <http://www.bsde.pho.org/bvsacd/abes23/II-042.pdf>. Acesso em: 13 jul. 2008.

FONTANA, A. O.; CORDEIRO, J. S. Soluções ambientais para lodos de Estações de Tratamento. **Revista Técnica**. São Paulo, ed. 117, dez 2006. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/117/artigo39274-1.asp>. Acesso em: 12 out. 2008.

JORGE, F. C.; BRITO, P.; PEPINO, L.; PORTUGAL, A.; GIL, H.; COSTA, R. P. **Aplicações para as Cascas de Árvore e para os Extractos Taninosos: Uma Revisão**. In: WOODTECH – Consultadoria e Intermediação Tecnológica para as Indústrias dos Produtos Florestais, 2001. Departamento de Engenharia Química. Universidade de Coimbra: Silva Lusitana - EFN, Lisboa, Portugal, 2001. vol. 9. n.2. p. 225 – 236. Disponível em: http://scielo.oces.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S0870-63522001000200010&lng=pt&nrm=iso. Acesso em 29 jun. 2008.

SILVA, T. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 85 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

VANACÔR, R. N. **Avaliação do Coagulante Orgânico *Veta Organic* utilizado em Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público**. 2005. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.