

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE QUÍMICA

MARIANI DE ÁVILA RESENDE

**USO DO TANINO ASSOCIADO AO SULFATO DE ALUMÍNIO COMO
COAGULANTES PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA
INDUSTRIAL**

UBERLÂNDIA

2018

MARIANI DE ÁVILA RESENDE

**USO DO TANINO ASSOCIADO AO SULFATO DE ALUMÍNIO COMO
COAGULANTES PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIA
INDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Química da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial para a
obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto do Amaral

UBERLÂNDIA

2018



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE QUÍMICA

Coordenação do Curso de Graduação em Química
Av. João Naves de Ávila, 2121 – Campus Santa Mônica – Telefax: (34)3239-4178
Bloco I A – Sala 235 – Uberlândia-MG – CEP: 38408-100
www.ufu.br – coliq@ufu.br



Ata de defesa do TCC - Trabalho de Conclusão de Curso da discente Mariani de Ávila Resende Matrícula 11211QMI212, do Curso de Graduação em Química Licenciatura - Noturno, da Universidade Federal de Uberlândia. Aos nove do mês de Abril de dois mil e dezoito às quatorze horas, na Sala 238 1A, do Campus Santa Mônica, teve início a apresentação e defesa da disciplina (GQL042) TCC - Trabalho de Conclusão de Curso, da discente Mariani de Ávila Resende, intitulado: "*Uso do tanino associado ao sulfato de alumínio como coagulantes para o tratamento de afluentes de lavanderia industrial*". A Banca Examinadora foi composta da seguinte forma: Prof. Dr. Fábio Augusto do Amaral (Orientador), Profa. Dra. Talita ferreira de Rezende Costa (1º Titular), Profa. Dra. Elaine Angélica Mundim Ribeiro (2º Titular). A discente fez a apresentação pública do TCC - Trabalho de Conclusão de Curso e posteriormente foi arguido pelos membros da banca tendo sido considerado:

Aprovado (X) Nota: 70 (0 a 100 pontos)

Reprovado ()

Considerações da Banca: O trabalho possui qualidade mas necessita de adequação do formato nos moldes de ABNT.
As discussões necessitam ser mais elaboradas e conclusões são necessárias.
NÃO há necessidade de mais realização de experimentos.

Prof. Dr. Fábio Augusto do Amaral (Orientador)

Profa. Dra. Talita ferreira de Rezende Costa (1º Titular)

Profa. Dra. Elaine Angélica Mundim Ribeiro (2º Titular)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Fábio Augusto do Amaral, meu orientador, pelo zelo e paciência durante a pesquisa e na orientação deste trabalho e das iniciações científicas.

Agradeço às professoras Ma. Talita Ferreira Rezende da Costa e Dra. Elaine Angélica Mundim Ribeiro pelo trabalho realizado em conjunto no laboratório e terem aceitado o convite para compor a banca.

Agradeço ao meu companheiro, à minha família, aos amigos e aos colegas de trabalho do LAETE.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), pela infraestrutura oferecida e disponibilidade de recursos, a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Rede Mineira de Química (RQ-MG) pelo auxílio financeiro. E ao laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV/UFU) pela disponibilidade do espaço físico concedido para a realização das atividades.

RESUMO

Esta pesquisa, em vista da crescente poluição da água potável e das prementes preocupações com um meio ambiente preservado e sustentável, verificou a possibilidade do uso de coagulantes mais sustentáveis e de fonte renováveis para o tratamento de efluentes de lavanderias industriais. O tratamento físico químico desses efluentes foi feito mediante o uso do coagulante tanino, de modo independente ou associado ao sulfato de alumínio. A partir das experiências realizadas conclui-se que a associação destes coagulantes permite não só uma remoção de turbidez acima de 90% para concentrações de 1500 ppm de tanino e 2500 ppm de sulfato de alumínio, como também remoção de cor do efluente, passando de uma coloração rosa forte para transparente. Embora tais resultados mitiguem os custos ambientais do tratamento de efluentes, eles por outro lado, encarecem economicamente o processo. É necessário, portanto, se houver desejo social no sentido da sustentabilidade, o incentivo de novas pesquisas com o próprio tanino em substituição aos coagulantes inorgânicos e políticas públicas que ampliem a fiscalização e os custos dos poluidores, tornando viável a procura, no setor público e privado, por tecnologias e materiais menos poluentes, ainda que mais caros.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes. Lavanderias Industriais. Coagulação. Tanino. Sulfato de Alumínio.

ABSTRACT

This research, in view of the increasing pollution of drinking water and pressing concerns with a preserved and sustainable environment, has verified the possibility of using more sustainable and renewable source coagulants for the treatment of industrial laundry effluents. The chemical physical treatment of these effluents was done through the use of tannin coagulant, independently or associated with aluminum sulphate. From the experiments carried out, it is concluded that the combination of these coagulants allows not only a turbidity removal above 90% for concentrations of 1500 ppm of tannin and 2500 ppm of aluminum sulphate, but also for color removal of the effluent from a strong pink to transparent. Although such results mitigate the environmental costs of effluent treatment, they, on the other hand, cost the process economically. It is therefore necessary, if there is a social desire for sustainability, to encourage new research with tannin itself instead of inorganic coagulants and public policies that will increase the inspection and costs of polluters, making the demand in the public sector viable and less polluting, but more expensive, technologies and materials.

Keywords: Treatment of effluents. Industrial Laundries. Coagulation. Tannin. Aluminum Sulfate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Molécula de tanino hidrolisável (a) e de tanino condensado (b).	25
Figura 2 – Mecanismo de formação do tanino catiônico – Reação de Mannich.....	26
Figura 3 - Representação esquemática da estrutura básica dos taninos em solução aquosa e possíveis interações moleculares indicadas por P.	27
Figura 4 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa de 50 ppm.	36
Figura 5 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 250 ppm.	38
Figura 6 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1000 ppm.	39
Figura 7 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1750 ppm.	41
Figura 8 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 3000 ppm.	43
Figura 9 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 4000 ppm.	44
Figura 10 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 5000 ppm.	46
Figura 11 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 7500 ppm.	47
Figura 12 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.	49
Figura 13 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.	51
Figura 14 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.	52
Figura 15 - Representação esquemática simplificada para formação do quelato entre a estrutura química do tanino e do cátion trivalente do alumínio.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição típica de efluentes gerados em lavanderias industriais.	19
Tabela 2 - Mecanismo de coagulação.....	23
Tabela 3- Vantagens do uso de tanino comparado com outros coagulantes em diferentes prioridades de coagulante no tratamento de efluentes diversos.	27
Tabela 4 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa de 50 ppm.	35
Tabela 5 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 250 ppm.	37
Tabela 6 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1000 ppm.	39
Tabela 7 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1750 ppm.	40
Tabela 8 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 3000 ppm.	42
Tabela 9- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 4000 ppm.	44
Tabela 10- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 5000 ppm.	45
Tabela 11- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 7500 ppm.	46
Tabela 12- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.	49
Tabela 13 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.	50
Tabela 14- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Al₂SO₄- fórmula química do Sulfato de Alumínio

Al(OH)₃- fórmula química do Hidróxido de Alumínio

Ca(OH)₂- fórmula química do Hidróxido de Cálcio

CaSO₄- fórmula química do Sulfato de Cálcio

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

COT- Carga Orgânica Total

DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio

Dra. Doutora

DQO- Demanda Química de Oxigênio

ETA- Estação de Tratamento de Água

ETE- Estação de Tratamento de Efluente

FAPEMIG- Fundação Amparo à Pesquisa de Minas Gerais

FECIV- Faculdade de Engenharia Civil

IQA- Índice de Qualidade de Água

LAETE- Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente

Ma. Mestra

mg.L⁻¹- miligramas por litro

mL- mililitros

NBR- Norma Brasileira

NTU- Unidade Nefelométrica de Turbidez.

pH- potencial hidrogeniônico

ppm- partes por milhão

RQ- Regional de Química

SABESP- Saneamento Básico de São Paulo

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

uH- unidade de Hazen ou miligramas de litro de platina/cobalto

UFU- Universidade de Uberlândia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
	OBJETIVOS	13
	JUSTIFICATIVA	13
2	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	14
2.1.	Água	14
2.2.	Efluente	17
2.2.1	<i>Efluente de Lavanderia Industrial</i>	<i>18</i>
2.2.1.1	<i>Tratamento de Efluente de Lavanderias Industriais</i>	<i>20</i>
2.2.1.1.1	<i>Pré-Tratamento</i>	<i>20</i>
2.2.1.1.2	<i>Tratamento Primário</i>	<i>20</i>
2.2.1.1.3	<i>Tratamento Secundário</i>	<i>21</i>
2.2.1.1.4	<i>Tratamento Terciário</i>	<i>21</i>
2.3.	Coagulante.....	21
2.3.1.	<i>Sulfato de Alumínio</i>	<i>23</i>
2.3.2.	<i>Tanino</i>	<i>25</i>
2.4.	Parâmetros de Qualidade Físico Químicos	28
2.4.1.	<i>Cor</i>	<i>28</i>
2.4.2.	<i>Turbidez.....</i>	<i>29</i>
2.4.3.	<i>Potencial Hidrogeniônico - pH</i>	<i>29</i>
2.4.4.	<i>Parâmetros referentes ao efluente estudado.....</i>	<i>30</i>
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1.	Análise de Diagramas de Coagulação	32
3.1.1	<i>Etapas no tratamento do efluente industrial para a construção dos Diagramas de Coagulação</i>	<i>32</i>
3.1.2	<i>Medidas e equipamentos utilizados.....</i>	<i>33</i>
3.2.	Investigação das áreas de atuação dos coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio do pH versus a dosagem de coagulação para aplicação do	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1.	Determinação da dosagem e pH de coagulação dos coagulantes primários aplicados individualmente.....	34
4.1.1	<i>Considerações sobre o uso dos coagulantes individuais</i>	<i>47</i>
4.2.	Determinação da dosagem e pH de coagulação dos coagulantes primários aplicados concomitantemente	48
4.2.1	<i>Considerações sobre o a associação dos coagulantes</i>	<i>54</i>
5	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Dentre os objetivos definidos pela Lei das Águas, para a Política Nacional de Recursos Hídricos, é importante destacar: a garantia da disponibilidade de água para as gerações atuais e futuras, padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada com vista ao desenvolvimento sustentável e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural (cheias e secas) ou decorrentes do uso inadequado dos recursos hídricos.

A má qualidade dos corpos d'água no Brasil tem como fonte: esgoto doméstico; efluentes industriais; efluentes da agricultura; desmatamento e manejo inadequado do solo; entre outras (BRASIL, 2005). A redução da qualidade da água está intimamente ligada às fontes de poluição na bacia hidrográfica e para recuperação da mesma são necessárias várias ações, como políticas socioambientais e educacionais voltadas para preservação do meio ambiente.

Em nossa sociedade urbano-industrial a busca pelo desenvolvimento sustentável tem demandado constantes iniciativas, desde práticas que procurem otimizar o uso dos recursos naturais através do emprego de técnicas de manejo até complexos projetos de gestão ambiental.

O crescente aumento na demanda dos recursos hídricos provocou a deterioração dos mesmos, pois a água (residuária) descartada de volta não apresenta um bom tratamento, ou nenhum. Com o aumento da população, temos o aumento de indústrias, com uma crescente geração de efluentes e um descarte inapropriado na natureza. Por meio de uma legislação ambiental mais rigorosa e uma maior conscientização pelas pessoas da preservação do meio ambiente, as indústrias se viram obrigadas a adequar seus processos de tratamento de seus efluentes a fim de evitar a contaminação do solo, do ar, dos rios lagos e dos oceanos.

A contribuição de efluentes provindos de lavandeiras industriais para a qualidade do corpo receptor é de suma importância, pois, geralmente, atingem volumes e vazões elevadas devido aos processos deste segmento, alterando-se as suas características físicas e químicas. Além de apresentar uma composição típica muito

variante, apresentando, em geral, elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente. Para tanto, a Legislação Ambiental Brasileira decreta certos parâmetros a serem seguidos nos descartes destes efluentes, ou seja, no tratamento dos mesmos.

O sulfato de alumínio tem sua utilização no tratamento de águas há bastante tempo, sendo que sua atuação como agente de coagulação em efluentes apresenta baixa incidência de sólidos em suspensão ou dissolvidos, além de uma boa remoção de turbidez, matérias orgânicas, entre outros. Atualmente, devido ao uso consciente dos recursos disponíveis, a posposta de se encontrar agentes que sejam menos ofensivos ao meio ambiente se tornou uma área de grande interesse para os centros de pesquisa. Lembrando que tais agentes devem ser de fontes renováveis para uma biodegradação de forma a causar o menor impacto buscando sustentabilidade para o processo.

No trabalho de Cruz (2004), Coral et al. (2009) a proposta de utilizar o tanino, um polímero natural (extraído da Acácia Negra) de fonte renovável, como coagulante em substituição ao sulfato de alumínio se mostrou tão eficiente quanto, além de promover uma redução de íons tóxicos no lodo. Estudos assim são importantes para a elaboração e confirmação destas tecnologias alternativas e se mostram diretamente relacionadas como a qualidade de vida das pessoas e do meio ambiente.

Pesquisas de novas tecnologias sustentáveis para o tratamento de efluente vêm sendo realizadas por todo país. Sendo uma alternativa os processos de separação que envolve a coagulação com componentes renováveis ou uso concomitante dos mesmos para uma melhor adequação do efluente final tratado.

OBJETIVOS

Neste trabalho a proposta foi avaliar a etapa de coagulação do tratamento físico químico do efluente de lavanderia industrial, buscando explicações com base nas interações químicas para os dados observados em cada um dos coagulantes e auxiliares de coagulação de fontes renováveis. A coagulação é um processo essencial para tratamento tanto de águas superficiais quanto de fluente industrial, pois, por meio desta, são removidos: os sólidos dissolvidos, matéria orgânica, turbidez, cor, entre outros. Desse modo, tem-se por objetivo principal:

- Investigar os diagramas de coagulação para o uso associado ou individualizado de Tanino cationizado e Sulfato de Alumínio.

Como objetivo secundário, buscou-se:

- Conhecer as faixas de pHs e de concentração de coagulantes que propiciem maiores remoções de turbidez e de cor;

JUSTIFICATIVA

Essa pesquisa, como outras realizadas pelo grupo LAETE- Laboratório de Armazenamento de Energia e Tratamento de Efluente nasceu das preocupações com o provável crescimento da poluição da água no Brasil. Assim, observou-se que o efluente gerado por lavanderias industriais não segue, muitas vezes, os parâmetros da legislação ambiental, seja pelo custo da adequação ou por não terem pesquisas, tecnologias ou materiais para isso. Desse modo, elaboramos uma proposta para aplicação de um novo tipo de tratamento, utilizando, um coagulante de fonte renovável que tenha uma eficiência tão boa quanto os que já são usados tradicionalmente. Porém, apesar deste outro coagulante apresentar remoção de turbidez e até mesmo de cor do efluente, o mesmo ainda é dispendioso quando comparado com os coagulantes inorgânicos. Logo, o estudo buscou analisar a ação concomitante do coagulante comercial e o de fonte renovável para o tratamento de efluente têxtil, equalizando custos econômicos e ambientais; além de comparar com os resultados de outras bibliografias correlatas.

2 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Para dar um maior suporte sobre as informações contidas neste trabalho, o levantamento bibliográfico traz informações sobre:

- i.) A água: sua importância, a maior contaminação da mesma por agentes antrópicos e uma preocupação com o tratamento da mesma;
- ii.) Efluente: sua definição, suas características e os impactos gerados, além do tipo de tratamento empregado;
- iii.) Coagulantes: para que servem sua importância, mecanismos de atuação, comparação entre o Sulfato de Alumínio e o Tanino;
- iv.) Parâmetros de qualidade físicos químicos: conceitos e métodos utilizados para avaliar a qualidade destes efluentes de lavanderias industriais.

2.1. Água

A água é uma questão socioambiental que requer atenção, pois é considerada um dos maiores recursos que a humanidade possui, necessária tanto nos processos vitais quanto na saúde humano, e corre o risco de não mais estar presente na vida futura. Constitui 70% de todo o território mundial, somente 3% dessa água é doce e a mesma se encontra em rios, lagos e subterrânea (VICTORINO, 2007). No Brasil, por exemplo, um símbolo nacional de desmazelo e estrago é o rio Tietê na cidade de São Paulo, a poluição causada antropicamente, não acomete somente rios, lagos e mares, mas também ao ar.

O ciclo hidrológico da água tem seu início através da condensação das nuvens que se precipitam sobre a terra formando os rios, mares e lagos e em seguida volta pela vaporização, além dessa água escorrer sobre as pedras e se filtrar formando os aquíferos (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010). Com céus sujos e tóxicos; florestas desmatadas; mares, rios e lagos contaminado, a escassez de água potável poderia ter sido prevista faz um tempo, pois com o aumento da urbanização, tem-se uma demanda maior por água. Pelo ciclo hidrológico o mundo continuaria abastecido, todavia com o meio ambiente poluído como se espera que continue a gerar água potável?

É importante que se comece a mudar as atitudes para com o meio ambiente, pois o homem implica diretamente no meio afetando os recursos naturais e a saúde humana. A poluição das águas e do solo aumenta a cada dia devido à presença de resíduos de materiais orgânicos e inorgânicos, de origem animal ou humano, pela falta de saneamento e cuidado do homem que acaba prejudicando a si mesmo e os outros.

As pessoas estão se conscientizando da necessidade de se preservar o meio ambiente e a biodiversidade para a sua sobrevivência. Assim, temas como qualidade de vida e desenvolvimento sustentável são tratados em conjunto pela sociedade, para que não se tenha um desenvolvimento gerador de desequilíbrios sociais e meio ambiente desgastados.

Segundo Brayner (2001) o setor industrial também está se conscientizando, por uma questão de sobrevivência no mercado (devido às novas normas da legislação), pois, tem se preocupado em investir em novas tecnologias para reduzir os custos e a poluição do meio ambiente, novas pesquisas e aplicação de tecnologias limpas visam economia energética, de água (devido ao alto custo e possível escassez) e a redução da poluição. Como exemplo, a previsão feita pela SABESP – Saneamento Básico de São Paulo - já estimava que em 2010 a demanda de água fosse superior à disponibilidade hídrica do Estado, se mostrou verdadeira, portanto desde 2001 se alertava sobre a crise (CÉSAR NETO, 2016).

Segundo Wentz e Nichuma (2011) para a prevenção de risco à saúde pública, é necessário à minimização de resíduos e de fontes de contaminação para um bom saneamento que combateria os impactos negativos sobre a questão ambiental, atendendo, assim, a legislação.

Para identificação e padronização da qualidade da água o Índice de Qualidade da Água (IQA) é empregado através da análise de alguns parâmetros que identifica ou qualifica as impurezas contidas nelas (BILICH; LACERDA, 2005). Segundo Merten e Minella (2002) o termo "qualidade de água" compreende às características químicas, físicas e biológicas, e essas características são elaboradas a partir das diferentes finalidades da água, seguindo normas (nacionais e/ou internacionais) e levando em conta a característica da comunidade a ser beneficiada. A qualidade da água não é a condição estática de um sistema aquático, rio, lago, represa ou área alagada e também não pode ser definida por um único parâmetro, ela é uma variável e requer permanente

monitoramento para detectar variações no espaço e no tempo (TUNDISI; MATSUMURA TUNDISI, 2006).

Cabanelas e Moreira (2007) constam que os recursos hídricos vêm sendo amplamente modificados e degradados devido às ações antrópicas, como o descarte de lixo, que afetam tanto a vida humana quanto a natureza, dessa forma estudos e políticas estão sendo feitos para a utilização mais racional desse recurso.

Tucci (2008) aponta como um problema no meio urbano: a contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos com os efluentes urbanos sem tratamento; a disposição inadequada dos esgotos sanitários; as inundações nas áreas urbanas devido à urbanização; a erosão; a sedimentação dos cursos d'água e a ocupação de áreas ribeirinhas. Embora a questão da degradação dos recursos hídricos no Brasil seja um processo que venha ocorrendo desde o período colonial esse problema foi agravado e acelerado com o crescimento econômico, o desenvolvimento industrial e a urbanização, (OTALARA; CARVALHO, 2011). Faz-se necessário repensar a gestão desse recurso, o saneamento (como ele é abordado), as controvérsias e os conflitos pelo uso da água, entre outros aspectos.

O desenvolvimento urbano segundo Tucci (2010) é um processo geográfico, no qual a água é suprida de montantes, de bacias vizinhas, da água subterrânea, ou combinações destas. Após o uso destas pela população, a mesma retorna para os rios, sem tratamento, poluindo os rios, que não mais poderão ser usados para abastecer. O abastecimento utiliza água de fontes sem contaminação, jogando água poluída para jusante, com o tempo, as fontes existentes são contaminadas pela urbanização, além de competir com a agricultura pelo uso da água, quando a cidade não tem capacidade de suprir a população, esta procura por seus próprios meios obter água perfurando poços ou comprando água, aumentando de forma exponencial o custo da água (BICUDO et al., 2010).

Miller (2003) diz que para a sustentabilidade dos recursos hídricos é necessária preservação ecológica das nascentes, uso racional deste recurso, acesso igualitário a água e participação dos assistidos para escolher como seriam desenvolvidos e manejados os recursos hídricos na bacia hidrográfica.

Segundo Di Bernardo et al. (1999):

“As principais alterações da qualidade da água de um recurso hídrico estão relacionadas ao crescimento ou adensamento das populações urbanas, à expansão industrial e aos usos diferentes do solo da bacia hidrográfica. Para

os ecólogos em geral, a poluição decorre de qualquer alteração da natureza física, química, biológica ou mesmo de regime hidrológico que produza desequilíbrios no ciclo biológico normal, alterando a composição da fauna e da flora do meio. Para os sanitaristas, a poluição de um recurso hídrico resulta, principalmente, do lançamento de águas oriundas de atividades industriais, agrícolas ou humanas.”

Salles et al. (2006) trazem que há a agravante da indústria ser uma atividade que gera rejeitos de composição extremamente variável em virtude da diversidade de corante que são processados durante o dia. A poluição das águas é causada principalmente pelo setor de lavanderia industrial devido ao seu grande contingente, o efluente altamente colorido e complexo quando descartado incorretamente pode contaminar o meio ambiente.

2.2. Efluente

Efluentes são despejos líquidos provenientes de atividade humana ou da atividade industrial, quando lançados alteram a qualidade dos corpos receptores, podendo vir a degradá-los. Segundo a Norma Brasileira- NBR 9800/1987, estes compreendem desde águas de refrigeração poluídas ao esgoto doméstico, para cada tipo há variação nas características físicas, químicas e biológicas, assim como no volume e na concentração dos mesmos (BRASIL, 1987; BRAILE; CAVALCANTI, 1993).

Dessa forma, faz-se necessária uma legislação que certifique a qualificação e quantificação desse efluente, bem como normas de despejos no meio ambiente. O CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente- através da Resolução nº 430 de 2011 que altera a Resolução nº 357 de 2005, em seu Artigo 16, estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos hídricos, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (BRASIL, 2011).

As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) são responsáveis pelo o tratamento adequado dos efluentes, removendo e desinfectando partículas poluidoras de forma a não contaminar o meio ambiente. O tratamento de efluentes pode ser dividido em: físico-químico (remoção dos contaminantes através de reações químicas que fazem a separação das fases sólidas e líquidas do efluente); e biológico (realizado por meio de

bactérias e outros microrganismos que consomem a matéria orgânica poluente através do processo respiratório). Em uma ETE convencional, o efluente passa por cinco etapas - pré-tratamento, tratamento primário; tratamento secundário; tratamento do lodo; tratamento terciário – antes de ser devolvido ao meio ambiente ou reutilizado.

A escolha do processo de tratamento se relaciona diretamente com a eficiência que se deseja ter e a capacidade de tratar/ purificar essa “água”. Devido à variação de sua composição dos efluentes industriais e domésticos são imprescindíveis estudos que apresentem a associação de diversas etapas de tratamento e verificação das mesmas para remoção de resíduos contaminantes.

De acordo com a Norma Brasileira NBR 9800 (1987), efluente líquido industrial é o despejo líquido proveniente do estabelecimento industrial, compreendendo emanções de processo industrial, águas de refrigerações poluídas e águas pluviais poluídas e esgoto sanitário. Braile e Cavalcanti (1993), afirmam que geralmente os efluentes brutos apresentam características originais que impossibilitam o aproveitamento na própria fonte geradora, e por isso, é destinado direta ou indiretamente em um corpo receptor.

2.2.1 *Efluente de Lavanderia Industrial*

“Uma característica essencial e distintiva da sociedade pós-industrial é a ênfase dada à prestação de serviços, que está presente de forma cada vez mais significativa na vida econômica, social e no entretenimento das pessoas. [...] Tendo em vista que a atividade de lavar roupas demanda muito tempo e as famílias hoje não dispõem de horas vagas para o lazer, a procura por este tipo de serviço só tende a aumentar consideravelmente. [...] Os serviços prestados pelas lavanderias, além de práticos, representam uma economia no orçamento doméstico, redução de uso de energia elétrica, além de minimizar o desperdício de água.” (SEBRAE, 2012)

Dentre os diversos tipos de efluentes industriais tem-se o gerado por Lavanderias Industriais que constitui a lavagem comercial de uniformes, roupas, tecidos, entre outros através do método de “águas de sabão”. Esse tratamento se dá para setores têxteis, hoteleiros, fábricas, hospitais, terceirizando a lavagem desses segmentos.

Os despejos gerados por essas empresas contêm além de sujeiras, outras substâncias como sabões, amaciantes, corantes, tinturas, tecidos e outros contaminantes. Tabela 1 apresenta a composição típica dos efluentes gerados nas lavanderias.

Tabela 1- Composição típica de efluentes gerados em lavanderias industriais.

Parâmetros	Resultados
pH	8 a 13
Sólidos Totais	>1.000 mg.L ⁻¹
Alcalinidade Total	30 a 300 mg.L ⁻¹
DBO	300 a 900 mg.L ⁻¹
DQO	500 a 2.000 mg.L ⁻¹
Turbidez	Coloidal acinzentada
Cor Aparente	Depende do processo
Óleos e Graxas	>2.000 mg.L ⁻¹

Fonte: UNISUL(1998).

Almeida et al. (2004) ressaltam que o efluente industrial gerado pelo setor têxtil apresenta um problema consabido: o “corante”. Visível mesmo em baixas dosagens alteram a cor natural dos corpos d’água, além de acarretarem outros problemas tóxicos.

As indústrias têxteis requerem grandes quantidades de água, corantes e produtos químicos ao longo de uma complexa cadeia produtiva, isto torna o processamento têxtil gerador de uma significativa quantidade de despejos aquosos altamente poluidores do meio ambiente, contendo elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos tóxicos (PEREIRA, 2007).

Efluentes de acabamento têxteis apresentam diversos tipos de corantes que possuem valores altos de pH, DQO e DBO, além de conter metais pesados, entre outros (COUTO JUNIOR, et al., 2013). O emprego desses corantes para o tingimento de roupas é um processo que envolve muitos produtos químicos, com resíduos de cores fortes e contaminantes.

Por apresentarem composição variada, contendo substâncias tóxicas, enfocam os corantes, sendo que os mesmos devem ser tratados antes de serem descarregados no ambiente, pois segundo a Resolução nº357 do CONAMA, de 17/03/2005, não é permitido alterar a coloração do corpo receptor, mudar suas características ou seu enquadramento. Os despejos das lavanderias devem ser submetidos a processos de tratamento antes do descarte na rede pública ou em córrego, rios etc.

Este efluente de grande vazão apresenta elevada carga orgânica, cor acentuada e substâncias tóxicas, além destas propriedades químicas e biológicas, a elevada concentração de sólidos totais determina o processo usado no tratamento do mesmo (THOMPSON, 2013).

2.2.1.1 Tratamento de Efluente de Lavanderias Industriais

O tratamento de efluente de lavanderia industrial geralmente se baseia em um processo físico químico no qual as etapas consistem de coagulação, floculação e sedimentação, esse conjunto de etapas faz parte do tratamento primário que irá remover a matéria orgânica e outros compostos dissolvidos, na superfície coloidal do sistema. Além desta etapa, há outras etapas que complementam e finalizam o tratamento tradicional deste efluente:

2.2.1.1.1 Pré-Tratamento

Pré-tratamento ou tratamento preliminar consiste em um processo físico de separação, ou seja, onde serão removidos sólidos grosseiros ou flutuantes e areia do efluente, através de grades e/ou peneiras, podendo haver caixas de areia. É uma etapa de baixo custo em relação aos demais processos, mas importante para que não haja danos no equipamento de tratamento.

2.2.1.1.2 Tratamento Primário

Empregado principalmente os processos físico-químicos de coagulação/floculação, tem-se aqui a adição de produtos químicos como os coagulantes / floculantes para a remoção de matérias orgânicas e sólidos suspensos que se encontram dispersos na solução e não sedimentam naturalmente.

No tanque de coagulação/floculação há um sistema de agitação que promove o processo de coagulação por: desestabilização das substâncias que se encontram em suspensões finas (ou em estado coloidal) e outras que se encontram dissolvidas por

adição de produtos químicos; neutralização das forças elétricas superficiais e anulação das forças repulsivas. Após processo de coagulação e sob agitação lenta, as partículas coloidais são colocadas em contato umas com as outras, havendo alteração na densidade e posterior precipitação. Já no tanque de decantação há a separação entre os flóculos obtidos no processo de floculação/coagulação, que decantam na parte inferior, formando o chamado "lodo". O efluente tratado escoar pelas calhas de recolhimento

2.2.1.1.3 Tratamento Secundário

O tratamento secundário, conhecido como tratamento biológico remove a matéria orgânica restante no processo, como fósforo, nitrogênio, entre outros, através de reações bioquímicas realizadas por bactérias ou fungos, podendo ser em sistema anaeróbio ou aeróbio.

Um dos parâmetros de qualidade utilizados para controle do tratamento é a formação do lodo, pois o mesmo pode ser químico ou biológico, na prática quer dizer que um apresenta muitas vezes reminiscências de contaminantes empregados no tratamento físico químico e ou outro por conter nutrientes é utilizado como fertilizante.

2.2.1.1.4 Tratamento Terciário

O tratamento terciário atua na remoção de poluentes específicos que ainda não foram removidos no tratamento secundário, como nutrientes, patogênicos, compostos não biodegradáveis; metais pesados sólidos inorgânicos dissolvidos; sólidos em suspensões remanescentes.

2.3. Coagulante

Coagular, do latim coagulare, significa juntar. Sendo usado cotidianamente pelas pessoas para se referir à área da saúde: “coágulos de sangue”, esse processo é utilizado para tratar água desde os primórdios.

As impurezas de dimensões num intervalo de 1 a 1000 nm, encontradas em efluentes industriais são chamadas de colóides, e por apresentarem elevada área superficial se tornam carregados (negativo) por adsorção de íons presentes no meio, surge daí uma força eletrostática de repulsão impede que eles se agreguem e sedimentem, se mantendo estáveis e dispersos no sistema, para que haja uma

desestabilização desse material é necessária à adição de sais metálicos ou polímeros orgânicos, que possuem carga oposta ao do coloide, assim ocorre à aglutinação dessas partículas (coágulos e posteriormente flocos), que se tornam densas e sedimentam (GUIMARÃES, 2013).

É preciso ressaltar que as partículas coloidais suspensas possuem um potencial elétrico e apresentam carga negativa (devido à adsorção de íons na superfície dessa partícula, ou por dissociação das mesmas) no meio ao se aproximarem íons de carga oposta há a formação de uma camada compacta (contendo tanto íons negativos quanto positivos), em seguida, íons negativos se aproximam atraindo outros íons negativos formando a camada difusa (por isso os coloides se repelem).

O conjunto dessas camadas é chamado de dupla camada elétrica, dentro dessa camada há o potencial zeta (potencial elétrico criado entre a camada compacta e a difusa) e a coagulação consiste em reduzir esse potencial a zero, para que as partículas se aglutinem ao entrarem em contato (KURITZA, 2012). Essa coagulação pode ser explicada por diversos mecanismos, na Tabela 2 estão apresentados quatro tipos:

Tabela 2 - Mecanismo de coagulação

Mecanismo	Definição
Compressão da camada difusa	Adição de íons de carga (não é necessariamente positiva, pois a carga inverte, eletrólito inerte diminui a repulsão) que permeiam a camada compacta e reduzem o potencial zeta e a espessura da dupla camada, gerando desestabilização e aglutinação, (pode ser considerado um processo reversível, o excesso de coagulante inverte a polaridade e estabiliza novamente o coloide) é um processo irreversível, no qual a quantidade de coagulantes adicionada independe a concentração de coloides.
Adsorção e neutralização de cargas	Adsorção de íons positivos a superfície da partícula, desestabilização (por neutralização) e aglutinação, ocorrem com dosagens menores de espécies hidrolisadas, é um processo reversível com relação direta entre quantidade de coagulante e a concentração dos coloides.
Varredura:	Adição de íons e dependendo da sua concentração, da quantidade de coagulante e do pH da mistura, haverá adsorção das partículas, os flocos formados são maiores e mais sedimentáveis, nesse caso não há relação estequiométrica entre quantidade de coagulantes e concentração de coloides.
Adsorção e formação de pontes:	Adsorção das partículas por polímeros através de suas longas cadeias (com sítios ionizáveis) ou pela incorporação, desestabilizando e aglutinado por meio da redução da ação da carga do coloide.

Fonte: Adaptado de Kuritza (2012).

“A eficiência do processo de coagulação depende de diversos fatores, tais como pH, tipo, concentração e dosagem do agente coagulante, temperatura, velocidade e tempo de mistura” (MARTINS, 2015).

2.3.1. Sulfato de Alumínio

Um dos coagulantes mais utilizados é o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) que remove partículas e substâncias dissolvidas, por meio do arraste e precipita o que está em suspensão, com eficiência na etapa de coagulação, contudo seu uso está sendo revogada, pois contamina com os íons sulfato o solo e água (CORAL et al., 2009).

A coagulação com sais de alumínio irá ser mais propícia quando o efluente apresenta grupos funcionais orgânicos, ou seja, só haverá interação entre coagulante e contaminante, com a presença de uma elevada carga orgânica presente no meio, isso se mostra propício para o efluente de lavanderia industrial (ANJOS, 2016).

Quando sais de alumínio são adicionados, através da (i.) dissolução do Sulfato de Alumínio (Equação 1), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, (ii.) os íons metálicos livres, Al^{3+} , são hidratados e reagem precipitando Hidróxido de Alumínio, $\text{Al}(\text{OH})_3$ para uma alcalinidade natural (Equação 2) e para uma alcalinidade inserida (Equação 3).



A formação de compostos insolúveis é percebida no primeiro estágio. Na coprecipitação, espécies solúveis (Equação 4) são incorporadas ao crescimento do hidróxido de metal via inclusão, oclusão ou adsorção.



Os impactos ambientais desse metal mesmo em baixas dosagens alteram o equilíbrio e a qualidade do corpo d'água (PEREIRA, 2007), podendo provocar problemas à saúde. Uma alternativa seria a utilização de outros coagulantes, talvez naturais que fossem atóxicos, mas ainda eficientes. Os taninos têm mostrado ação semelhantes ao sulfato de alumínio, atuando em uma ampla faixa de pH, capaz de reduzir o lodo além de sua estrutura permitir adsorção de metais remanescentes, tudo isso sem um alto custo e sem alterar o pH do meio (MARTINS, 2015; CORAL; BERGAMASCO; BASSETI, 2009).

Segundo Piantá (2008), no tratamento de águas o sulfato de alumínio é o mais comumente usado, apresentando eficiência de mais de 40% na redução de cor e turbidez, entre outros parâmetros, enquanto que o tanino remove mais de 60% de cor e turbidez, podendo adsorver metais remanescentes, evitando assim a contaminação do meio ambiente.

Segundo Jorge e Brito (2003), os taninos são polímeros naturais oligoméricos constituídos de grupos fenólicos, de peso molecular elevado, podendo ser solúvel na sua forma natural ou complexada (propriedade relacionada com os grupos hidroxilas

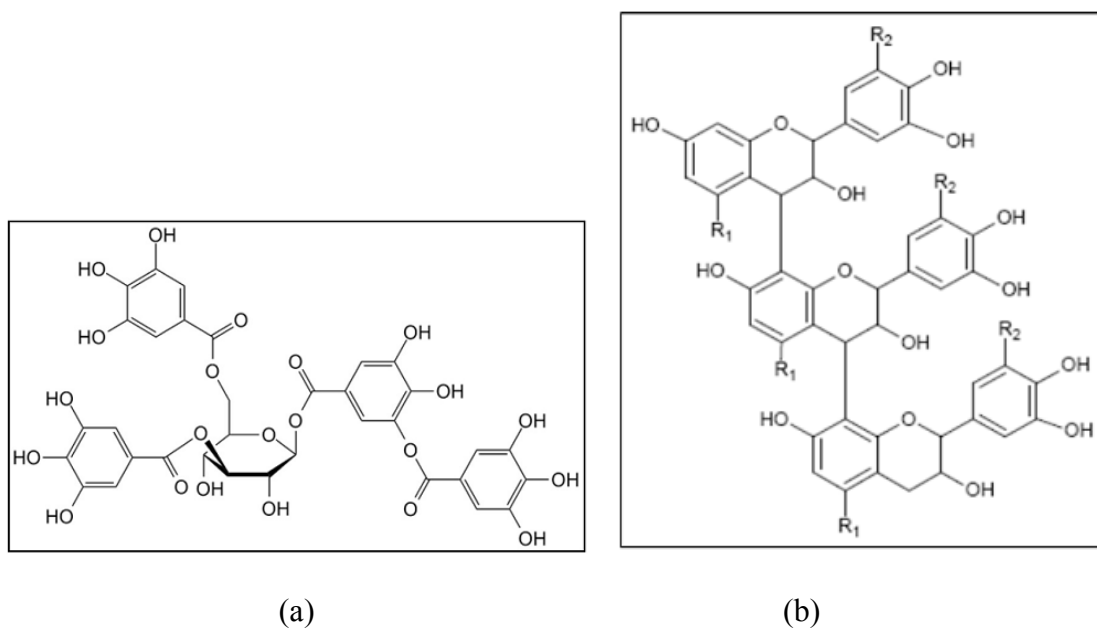
presentes na sua estrutura, entre outros). O uso de tanino em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de efluentes está crescendo, devido a menor contribuição de sulfatos no meio e de um lodo mais orgânico, que poderá ser utilizado como fertilizante.

2.3.2. Tanino

“Extraído da casca de vegetais como a Acácia Negra, por exemplo, o tanino atua em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e consequente sedimentação (ROZENO et al., 2016).”

Esse composto de alto peso molecular e atóxico que apresenta duas classes: hidrolisável (Figura 1. a), hidrolisam-se em ácidos fortes ou condensada (Figura 1. b), apresentam grupos flavonoides, e dificilmente tem suas ligações simples carbono-carbono quebradas (ANJOS, 2016).

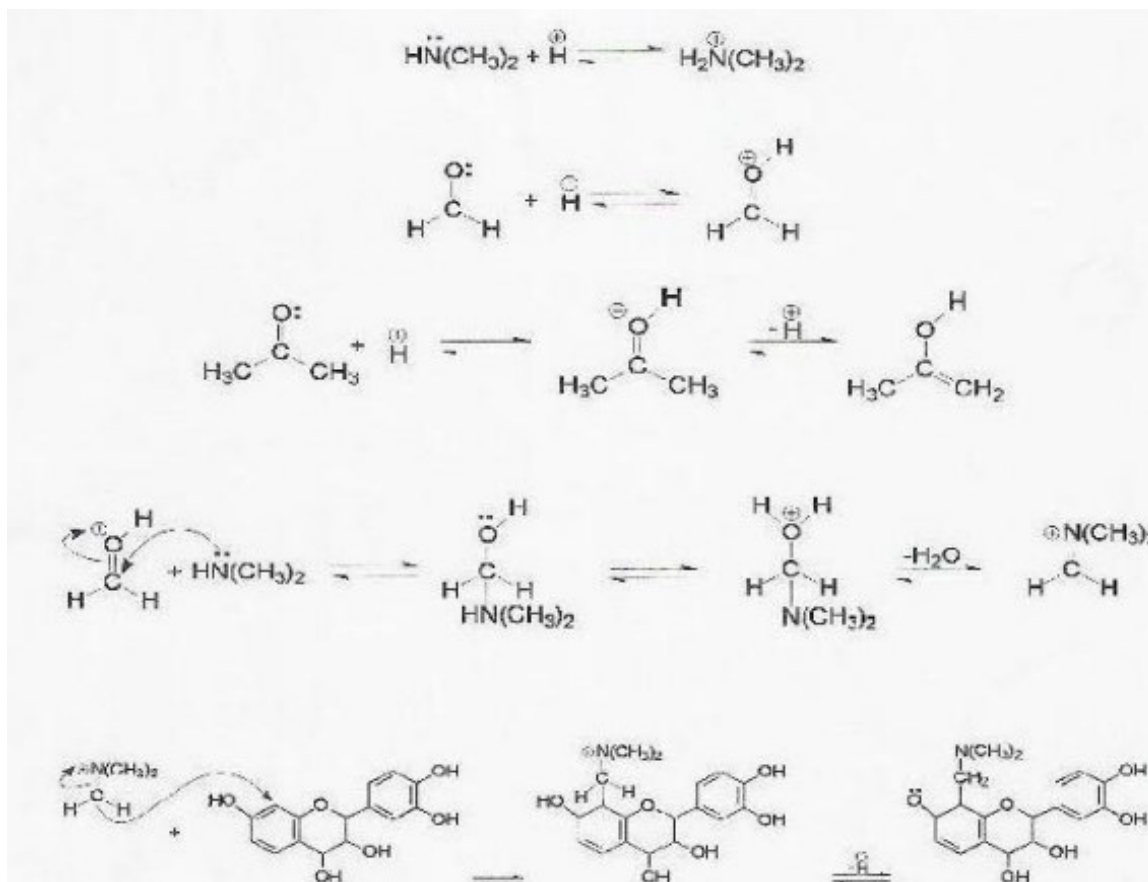
Figura 1 – Molécula de tanino hidrolisável (a) e de tanino condensado (b).



Fonte: Adaptado de Mangrich *et. al.*(2014 *apud* ANJOS, 2016).

Depois de extraído da Acácia, o tanino condensado passa por uma Reação de Mannich (Figura 2) que consiste na reação do hidrogênio ativo com o aldeído não enolizável e uma amina primária ou secundária, conferindo um caráter catiônico, uma baixa viscosidade e alta solubilidade em água (CRUZ, 2004).

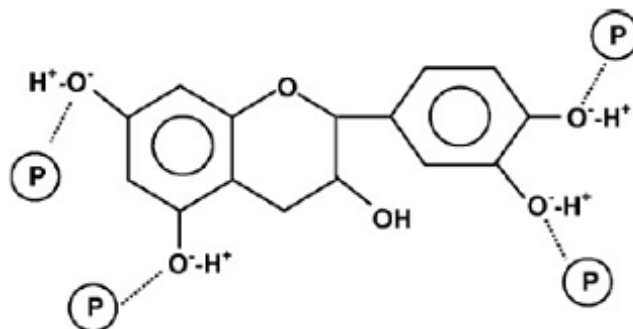
Figura 2– Mecanismo de formação do tanino catiônico – Reação de Mannich.



Fonte: Tanac (2003 *apud* CRUZ, 2004).

O tanino cationizado (Figura 3) se torna um excelente doador de prótons, dada a presença de grupos fenólicos, que lhe conferem alta estabilidade devido as estruturas de ressonância e permite uma maior efetividade no processo de coagulação (COSTA, 2013). No processo de coagulação seu mecanismo se dará por compressão da dupla camada elétrica e/ ou pela modificação do potencial superficial das partículas, formando os coágulos com atração das partículas (CRUZ, 2004). Em alguns casos, é necessário adicionar flocculantes com maior peso molecular, para que se ganhe tamanho os coágulos/ flóculos, porém como vai ser discutido nesse trabalho, o mesmo pode ser usado em conjunto com sais inorgânicos e apresentar boa eficiência.

Figura 3- Representação esquemática da estrutura básica dos taninos em solução aquosa e possíveis interações moleculares indicadas por P.



Fonte: Yin (2010).

Ao se comparar estudos de bancadas em Cruz (2004) que ora utilizam o tanino como auxiliar, ora como principal coagulante em diferentes efluentes permitiu observar através do Tabela 3 uma série de vantagens na utilização desses coagulantes.

Tabela 3- Vantagens do uso de tanino comparado com outros coagulantes em diferentes prioridades de coagulante no tratamento de efluentes diversos.

Exemplo	Prioridade Coagulante	Origem do Efluente	Vantagens do tratamento
1	Auxiliar do $Al_2(SO)_4$	Estação de Tratamento de Água (ETA)	Redução de 72% de alumínio residual e de reagentes (sulfato de alumínio e cal), formação de lodo com um menor teor de alumínio, maior eficiência;
2	Principal (substituindo $Al_2(SO)_4$)	ETA	Redução de 50% de Cl_2 , formação de lodo quase isento de alumínio, eliminação de reagentes (cal e sulfato de alumínio), simplificação processo e maior eficiência;
3	Principal (subst. $FeCl_3$)	Indústria Petroquímica	Redução da DQO, óleos e graxas e produtos químicos, formação de lodo biodegradável;
4	Principal (subst. $Al_2(SO)_4$)	Refinaria de Petróleo	Remoção acima de 20% na DQO e no H_2S , formação de lodo biodegradável, redução de 75% de insumos químicos;
5	Principal (subst. $Al_2(SO)_4$)	Abatedouro de Ave	Remoção acima de 56% da DQO e de óleos e graxa, formação de lodo orgânico, eliminação de reagentes (cal e sulfato de alumínio);
6	Principal (subst. $Al_2(SO)_4$)	Esgoto	Redução dos valores de DBO, DQO e matéria orgânica, formação de lodo não contaminado e simplificação do processo;

Fonte: Adaptado de Cruz (2004).

Nos últimos anos as indústrias brasileiras vêm investindo em pesquisas e desenvolvimento de coagulantes orgânicos biodegradáveis de origem vegetal, sendo que o tanino tem se mostrado eficiente no tratamento de efluentes e águas. Para uma maior sistematização sobre aplicação destes coagulantes estudos são feitos para se obter a melhor eficiência nas etapas de coagulação, e isto pode ocasionar melhores taxas de sedimentação e flotação.

2.4. Parâmetros de Qualidade Físico Químicos

No caso de efluentes têxteis, a caracterização é realizada através de parâmetros físicos e químicos, indicados pela NBR 13402. As características da água como cor, turbidez, pH, entre outros são importantes parâmetros (PAVANELLI, 2001). Esses parâmetros ressaltados foram a base de análise desta pesquisa, podendo existir outros para se analisar.

2.4.1. Cor

A cor da água se dá através da reflexão da luz em partículas dissolvidas, pode ser de origem vegetal ou mineral, causada por substâncias metálicas como o ferro ou manganês, matérias húmicas, entre outros. Para se determina-la é feita uma comparação com o cobalto-platina, a unidade de medida é chamada unidade Hazen - uH (BRASIL, 2014).

As características dos efluentes industriais são bastante variáveis quanto aos tons e concentrações de cor, o que torna mais difícil quantificar a cor de um efluente industrial. Os efluentes têxteis, em particular, apresentam problemas estéticos e ambientais ao absorver luz e interferir nos processos biológicos próprios do corpo hídrico. Poluentes coloridos têm sido apontados como substâncias potencialmente tóxicas. A Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece os padrões de lançamento de efluentes nos corpos hídricos brasileiros não fixa valores máximos para o parâmetro de cor. Entretanto, estabelece que o lançamento não poderá modificar a característica original do corpo receptor, ou seja, visualmente não poderá haver alteração (KAMMRADT, 2004).

2.4.2. Turbidez

A turbidez é o grau de interferência à passagem da luz através do líquido, sendo expressa por meio de unidades de turbidez (Jackson ou nefelométricas), NTU, ao contrário da cor, que é causada por substâncias dispersas (em suspensão), a turbidez é provocada por partículas em suspensão, portanto, é reduzida por sedimentação (BRASIL, 2014). Um parâmetro que afeta tanto custo econômico quanto a qualidade de vida do meio ambiente, pois quanto mais “turvo” estiver, mais reagentes químicos serão necessários para limpar o efluente.

2.4.3. Potencial Hidrogeniônico - pH

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido, por meio da medição da presença de íons hidrogênio (H^+), abrangendo a faixa de 0 a 14 (inferior a 7: condições ácidas; superior a 7: condições alcalinas (BRASIL, 2014). Importante na determinação da qualidade de despejos industriais, pois condiciona as reações químicas do meio. O pH é o logaritmo decimal do inverso da concentração hidrogeno-iônica, podendo ser calculado pela Equação 5:

$$pH = \log (1/[H^+]) \text{ ou } pH = -\log [H^+] \quad (\text{Equação 5})$$

É um dos primeiros parâmetros a ser verificado de maior frequência de monitoramento em estações de tratamento de água ou efluentes, pois é um fator que interfere diretamente em todo o processo, principalmente, na etapa de coagulação. Os coagulantes utilizados no tratamento possuem uma faixa de pH específica de operação que deve ser rigorosamente seguida para que o processo de coagulação ocorra de modo eficaz. Um pH inadequado provoca ineficiência nesta etapa e aumenta os custos operacionais em uma Estação de Tratamento. O pH baixo maximiza os efeitos da corrosão enquanto o pH alto promove incrustações nas tubulações. De acordo com o Art. 34 § 4º da Resolução CONAMA 430/11, o pH do efluente a ser lançado em corpos d'água deve estar entre 5,0 e 9,0 (BRASIL, 2011).

2.4.4. Parâmetros referentes ao efluente estudado

A partir de dados retirados de um trabalho em conjunto com Costa (2013) foi possível observar que:

- i.) Devido às frequentes oscilações nas características dos processos de lavagens, as amostragens foram realizadas de maneira composta com coletas diárias e em horários estratégicos, ao longo do ano de 2012, a fim de obter-se uma composição de efluente bruto similar ao encontrado no tanque de recebimento da estação local;
- ii.) O efluente apresentava grande quantidade de óleos e graxas, sendo necessária uma outra etapa para remoção do mesmo, pela adição de ácido H_2SO_4 (ácido sulfúrico) 10% (v/v) até o pH próximo a 2,0. Portanto, o ponto de partida para construção dos diagramas de coagulação foi na região de pH ácido.
- iii.) A partir das análises feitas sobre o desenvolvimento de duas classes de tanino se escolheu a classe SL.
- iv.) O efluente apresentava características de cor forte (coloração vermelho-rosada) e alto índice de turbidez (acima de 1500 NTU).
- v.) O efluente bruto foi filtrado, o que fez com que seu índice de turbidez reduzisse para 258 NTU e assim, os ensaios foram realizados com a adição de diferentes concentrações de coagulantes (tanino e/ou sulfato de alumínio) se medindo a remoção de turbidez para uma ampla faixa de pH (3 a 10).
- vi.) O efluente agora apresentava 90% de redução do índice de turbidez, apresentando uma cor mais branda, chegando ao transparente para algumas concentrações.
- vii.) Os diagramas aqui analisados relacionaram a influência da concentração do coagulante aplicado sozinho e/ou associado com as variações nas concentrações aqui apresentadas anteriormente, em função do pH de aplicação, sobre o percentual de remoção de turbidez, buscando quais seriam os melhores resultados de remoção de turbidez e cor, observando as faixas de pH em que ocorreram, bem como as faixas de concentração dos coagulantes

Assim, como Costa (2013, p.42-43) o aparelho usado para medir o índice de turbidez foi:

“Para a análise do parâmetro remoção de turbidez, foi utilizado um turbidímetro AP 2000 PoliControl. Ao utilizar tal aparelho, fez-se necessário a calibração do mesmo com os padrões fornecidos pelo fabricante: 0,01 NTU, 8,0 NTU, 80,0 NTU e 1000,0 NTU. O turbidímetro em questão contava com um software que, a partir desses padrões, traçava uma curva de calibração na qual as amostras subsequentes são comparadas. Desta forma, o percentual de remoção foi obtido realizando as leituras do efluente bruto e tratado.”

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir do grupo de pesquisa do LAETE, foram realizados os estudos que fomentaram as dissertações de Costa (2013) e Thompson Junior (2013). Esta pesquisa é um dos desdobramentos das investigações que foram realizadas em conjunto naquele período.

Os efluentes estudados no trabalho são provenientes de duas lavanderias industriais, localizadas em Belo Horizonte (MG) e Arujá (SP). Estas lavanderias atuam na área de prestação de serviços a empresas, fábricas, hospitais e domicílios, terceirizando a lavagem de roupas e uniformes realizando várias operações, tais como: amaciamentos, desbotamentos, lavagens, estonagens e desengomagens. Os resultados dos ensaios analíticos de caracterização do efluente bruto permitem afirmar que tais águas residuárias não atendem aos padrões físico-químicos exigidos pelas legislações vigentes e podem comprometer drasticamente o meio aquático (corpo receptor), devendo ser tratadas para o posterior lançamento nos corpos hídricos receptores (THOMPSON, 2013; COSTA, 2013).

3.1. Análise de Diagramas de Coagulação

A metodologia deste trabalho consistiu na análise dos Diagramas de Coagulação e na construção de novos gráficos para uma melhor visualização e entendimento de como se dá a atuação dos coagulantes nesta etapa; tais gráficos foram a base para a elaboração de uma nova metodologia de tratamento de efluente de lavanderia industrial.

3.1.1 Etapas no tratamento do efluente industrial para a construção dos Diagramas de Coagulação

Para a construção dos diagramas de coagulação de Costa (2013) foram utilizados os seguintes parâmetros: a quantidade de efluente utilizada foi de 200 mL (mililitros), a faixa de pH analisada foi de 3 a 10; a concentração investigada variou de 50 ppm a 7500 ppm tendo um volume fixo de 20 mL variando a proporção entre os coagulantes 1:1, 1:3 (uma parte de tanino para três partes de sulfato de alumínio) e 3:1 (três partes de tanino para uma parte de sulfato de alumínio); gradiente de 100 rotações por segundo e um tempo de agitação de 1 minuto e mediu-se a turbidez do efluente bruto e depois dele tratado.

As etapas do tratamento de Costa (2013) consistiram em: (i.) Coleta da amostra; (ii.) Remoção de óleos e graxas; (iii.) Escolha do coagulante; (iv.). Caracterização analítica do efluente bruto, (v.) Elaboração dos ensaios de coagulação; (vi) Caracterização analítica do efluente tratado; e (vii) Análise de dados e construção dos diagramas de coagulação.

3.1.2 Medidas e equipamentos utilizados

As medidas de pH das amostras foram realizadas utilizando um pHmetro (marca Gehaka modelo PG1800), sendo calibrado diariamente com soluções tampão de pH 7,0 e 4,0, conforme indicado por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21^a Edition (AWWA, 2005). E para a determinação das medidas de índice de turbidez, foi utilizado um espectrofotômetro marca HACH modelo 2100P (THOMPSON, 2013; COSTA, 2013).

3.2. Investigação das áreas de atuação dos coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio do pH versus a dosagem de coagulação para aplicação do

Os diagramas de coagulação aqui analisados foram obtidos de um ensaio no qual os coagulantes Tanino e Sulfato de Alumínio foram utilizados (4.1.) separadamente e (4.2.) de modo concomitante.

Apesar de termos realizados todas essas etapas em conjunto, é na etapa vii.) que o presente trabalho se distingue ao confrontar os dados encontrados com Souza et al. (2015) e Anjos (2016) e fazer uma nova análise da atuação dos coagulantes aqui apresentados, comparou-se com as bibliografias os seguintes itens: redução de turbidez, remoção de cor e pH de atuação.

O enfoque deste trabalho se dará no tratamento primário de um efluente de lavanderia industrial, com enfoque na etapa de coagulação. Logo, este trabalho visa estudar a etapa de coagulação no tratamento de efluente industrial, comparando o uso de do sulfato de alumínio com o tanino (obtido de fonte renovável), estabelecendo uma rota de tratamento físico-químico do efluente de lavanderia industrial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Determinação da dosagem e pH de coagulação dos coagulantes primários aplicados individualmente

Neste tópico, verificou-se a utilização do coagulante tanino – que é de fonte renovável, retirado da casca da Acácia negra – em comparação com o coagulante sulfato de alumínio – largamente utilizado e que libera íons alumínio na água, podendo deixar reminiscências de sulfato no lodo.

A seguir, apresentar-se-á uma relação entre o pH e o percentual de remoção de turbidez de dois coagulantes. Os dados das Tabelas 4 a 15 são retirados de Costa (2013) e serão comparados com Souza e colaboradores (2015) e Anjos (2016) que utilizaram os mesmos coagulantes. Pretende-se demonstrar o bom desempenho do tanino em concomitância com o sulfato de alumínio.

Segundo Costa (2013) o efluente da lavanderia industrial apresentou alto índice de turbidez (acima de 1500 NTU) e coloração forte em vermelho rosado. O pH inicial após ter se retirado os óleos e graxas (na presença deste a um aumento na dosagem de reagentes, não apresentam resultados tão satisfatórios quando se promove a remoção dos mesmos) estava em torno de 2,0. Além de apresentar, elevada concentração de sólidos totais, carga orgânica e compostos químicos tóxicos. O efluente bruto ao ser filtrado reduz drasticamente seu índice de turbidez (de 1010 para 258 NTU). Para

A Tabela 4 apresentar os valores obtidos da relação da variação do percentual de remoção de turbidez em função da faixa de pH para uma dosagem de 50 ppm dos coagulantes tanino e sulfato de alumínio aplicados individualmente. A faixa de pH variou entre 3 e 10 (adicionando-se uma solução de 10% de NaOH) para que se mantivesse as características da etapa de acidificação (pH entorno de 2) do efluente – necessária na etapa de remoção de óleos e graxas do efluente, e não ultrapassasse um pH muito básico (pois, mesmo sem a adição do coagulante, poderia ocorrer uma coagulação instantânea do efluente) não dando para especificar o mecanismo coagulação.

O tanino utilizado foi o SL, a partir da investigação de melhor coagulante feita por Costa (2013), analisando-se remoção de turbidez e geração de lodo, ou seja, este

tanino apresentou melhor remoção a uma menor dosagem assim como menor volume de lodo.

Tabela 4 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa de 50 ppm.

Concentração inicial de coagulante 50 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	11,97	0,00
4	72,407	0,00
5	0,00	0,00
6	16,78	0,00
7	18,24	0,00
8	78,54	0,00
9	87,77	15,30
10	82,04	31,50

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

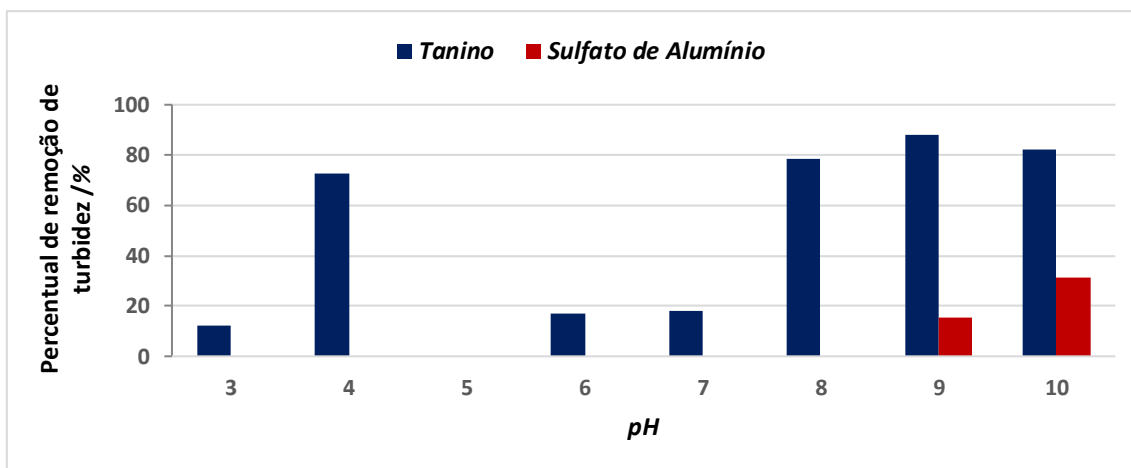
A partir da Tabela 4, pode-se inferir que o tanino apresenta uma remoção de turbidez em quase toda a faixa de pH, a uma baixa concentração, enquanto o sulfato de alumínio não removeu nem 32% do índice de remoção e foi somente para o pH 9 e 10.

O Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) quando adicionado abaixa a alcalinidade do meio, reduzindo o pH, por meio da reação de hidrólise que liberam (H^+). Essas reações foram apresentadas nas equações 1, 2 e 3 anteriormente. Devido a elevada concentração de partícula coloidais presentes neste efluente, em baixa dosagem o sulfato de alumínio não conseguiu uma boa desestabilização dessas partículas para remoção de turbidez. Com o aumento do pH, pode-se observar que a coagulação tornou-se mais efetiva.

O tanino cationizado apresenta em sua estrutura (Figura 3) diversos grupos fenólicos que podem ser desprotonados, devido a presença de grupos hidroxilas nas pontas a ora ele atuar em regiões ácidas interagindo com (H^+) ora em regiões básicas com (OH^-). Como coagulante atua neutralizando cargas e formando ponte entre as partículas coloidais, e para, além disso, o mesmo não consome a alcalinidade do meio (CORAL et al., 2009).

Os resultados obtidos na Figura 4 foram discutidos em torno do percentual de remoção de turbidez para uma faixa de pH e para uma dosagem de 50 ppm para o uso individual do coagulante.

Figura 4 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa de 50 ppm.



Fonte: a autora.

A teorização de Pavanelli (2001), conforme entendimento de Costa (2013), indica que o tanino pode atuar de três modos: (i) varredura, (ii) compressão da dupla camada, e (iii) adsorção e (iv) formação de pontes. Nesta dosagem o tanino apresentou uma variação na remoção de turbidez, observando-se que os melhores resultados foram no pH 9 e 10, em decorrência de que a carga fornecida facilita a atuação do tanino. Pode-se verificar que o sulfato de alumínio não apresenta nenhuma remoção na maioria da faixa dos pHs, começando a remover em pHs mais altos, que já apresenta uma carga, não dando para afirmar com certeza a atuação.

O sulfato de alumínio atua na coagulação, conforme Richter (2009), pela formação de hidróxidos insolúveis, que formam complexos ao se hidrolisarem, geralmente entre o pH 5 e 7. Ao se hidrolisar o complexo formado promove a desestabilização das cargas e em seguida a coagulação. As concentrações de tanino utilizadas foram propostas conforme a contribuição do trabalho de Costa (2013), onde se encontrou as regiões de máxima remoção extrapoladas até as regiões de baixa eficiência. A Tabela 5 apresenta uma dosagem mais alta dos coagulantes, observando mudança na atuação dos mesmos.

Tabela 5 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 250 ppm.

Concentração inicial de coagulante 250 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	95,00	0,00
4	93,07	0,00
5	73,90	10,84
6	68,88	22,59
7	60,12	17,92
8	71,63	33,88
9	75,63	62,80
10	75,36	55,72

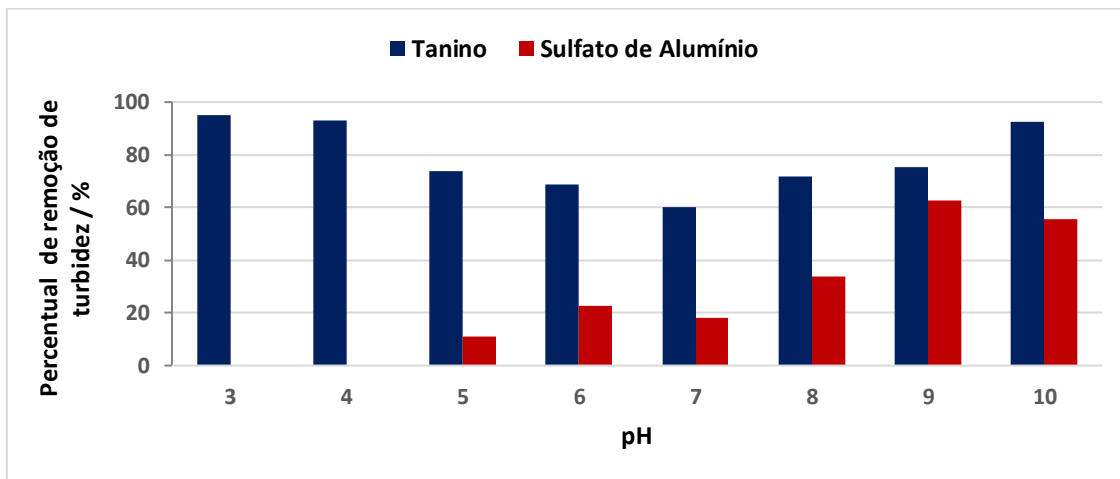
Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Na Tabela 5 é perceptível uma remoção de turbidez para quase todas as faixas de pH, nos dois coagulantes. Mas o tanino ainda apresenta uma maior remoção do índice de turbidez do que o sulfato de alumínio, para toda a faixa de pH.

O sulfato de alumínio aumenta sua área de remoção, para pHs acima de 5 mais ainda não consegue remover acima de 62%, ou seja, ainda, essa dosagem não é suficiente para que as cargas desestabilizem os colóides e os mesmos de sedimentem, removendo os sólidos suspenso e a turbidez.

Enquanto o tanino apresenta remoção acima de 90% para pH 3 e 4, e acima de 71% para os pHs 8, 9 e 10 na mesma faixa, melhorando com o aumento da dosagem, mas continua a apresentar baixa remoção na faixa de pH entre 5 e 7(neutro). Na Figura 5 será possível observar melhor a atuação destes coagulantes.

Figura 5- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 250 ppm.



Fonte: a autora.

Observa-se na Figura 5 que a atuação do tanino continua na região de pH 9 e 10, mas que há, agora, uma considerável remoção nos pHs 3 e 4, nessa nova região, em pH ácido, o tanino atua desestabilizando e depois adsorvendo as partículas coloidais, e assim coagulando.

O sulfato de alumínio agora apresenta uma remoção maior e uma área maior de remoção. Souza et al. (2015) mostram que sulfato de alumínio a uma dosagem de 300 ppm apresenta uma remoção de turbidez de 95% para um efluente de lavanderia industrial.

Neste efluente apresentado na Figura 5 ainda temos uma remoção do índice de turbidez entorno de 60% para uma faixa de pH mais básico. Para uma dosagem quatro vezes maior têm-se novos valores de remoção que serão abordados na Tabela 6.

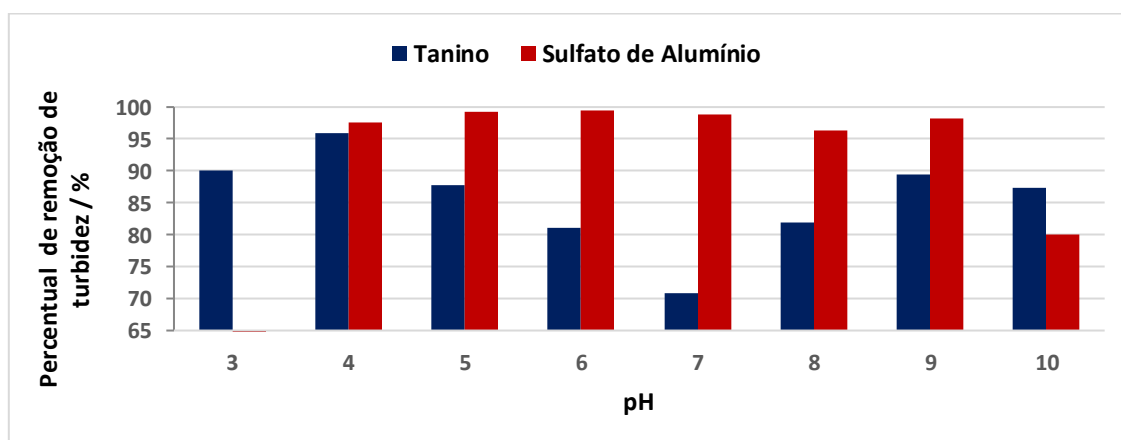
Tabela 6 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1000 ppm.

Concentração inicial de coagulante 1000 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	90,04	0,00
4	95,84	97,62
5	87,77	99,25
6	81,05	99,41
7	70,79	98,84
8	81,89	96,34
9	89,49	98,18
10	87,39	79,94

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Na Tabela 6 observa-se que o sulfato de alumínio remove em maior porcentagem, acima de 96%, a turbidez e em uma ampla faixa de pH, ainda não remove no pH 3. Isso se deve ao aumento de cargas positivas, permitindo remover as partículas coloidais com cargas negativas. Já o tanino consegue com essa dosagem, remover acima de 70 % em regiões neutras, continuando a remover acima de 87% em regiões básicas e acima de 90% em regiões ácidas. A partir da Figura 6 será possível observar melhor o aumento da dosagem no tratamento deste efluente.

Figura 6 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1000 ppm.



Fonte: a autora.

Pode-se perceber que o tanino não age mais somente em uma área de pH, mas em uma ampla região, com uma remoção acima de 70%. Em comparação com o sulfato de alumínio o tanino remove desde baixas concentrações na faixa de pH 3. O sulfato de alumínio por mais que não apresente remoção em pH 3, já remove a turbidez acima de 95% para o restante da faixa de pH.

A uma dosagem de 960 ppm de tanino (SG), pode-se observar um comportamento semelhante em Anjos (2016) que consegue uma remoção de 99%, sendo este seu resultado mais eficiente, pois apresentou o menor volume de lodo formado, para um efluente de curtume com turbidez inicial de 2400 de alta carga orgânica. Quando tratado com sulfato de alumínio sob as mesmas concentrações apresentou uma remoção de 98%, mas em comparação com a coagulação do tanino, apresentou para essa dosagem um aumento da carga orgânica total no final do tratamento.

Para dosagens elevadas de sulfato de alumínio (geralmente superiores a 300 ppm) e de pH entre, aproximadamente, 6 a 8, há formação de $\text{Al}(\text{OH})_3$ insolúveis. Porém, quando o pH é inferior a 5,7; pode haver formação e predominância de espécies poliméricas do tipo $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ (conforme eq.4) sendo estas solúveis (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Com um aumento da concentração dos coagulantes podemos ver uma mudança significativa nos valores do percentual de remoção de turbidez apresentados na Tabela 7 a baixo.

Tabela 7 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1750 ppm.

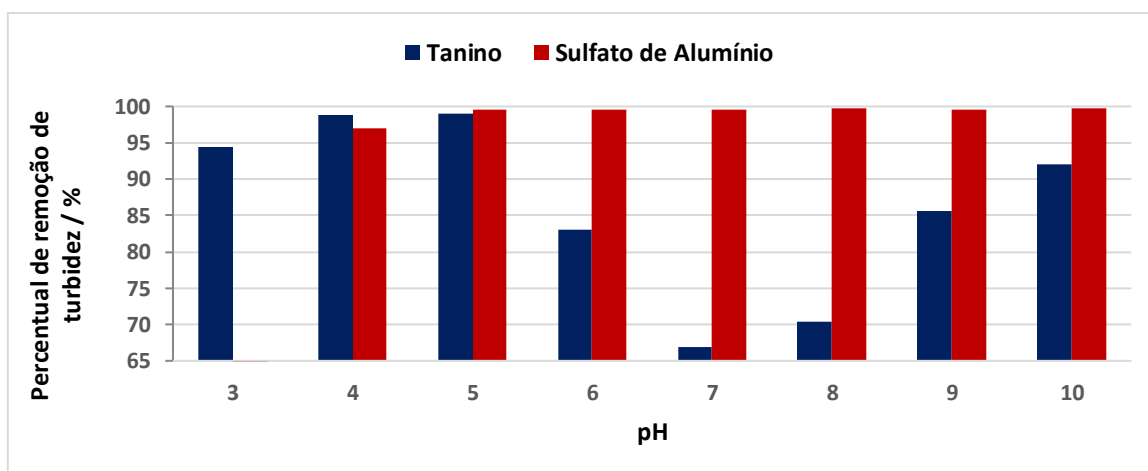
Concentração inicial de coagulante 1750 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	94,46	0,00
4	98,90	97,01
5	99,03	99,50
6	82,99	99,56
7	66,97	99,64
8	70,36	99,69
9	85,56	99,63
10	92,11	99,80

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Na Tabela 7 temos que o sulfato de alumínio apresenta remoção de turbidez acima de 97% para a maioria dos pHs, somente no pH 3 é que ainda não apresenta nenhuma remoção. Enquanto o tanino continua a remover acima de 66% para toda a faixa de pH.

Pode-se inferir que as melhores remoções de turbidez para o tanino se encontram nos pHs mais ácidos (3 a 5) ou básicos (9 e 10), e as piores remoções estão em pH neutros. Isso se deve a ausência de cargas na estrutura do tanino para agir nessa região neutra, fazendo com que não haja uma boa atuação do mesmo. Já na região ácida o excesso de íons H^+ irá protonar as hidroxilas presentes na estrutura do tanino, e na região básica o excesso de íons OH^- irá neutralizar o grupo amina. Pela Figura 7 poderá se observar melhor os resultados aqui apresentados.

Figura 7 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 1750 ppm.



Fonte: a autora.

Na concentração de 1750 ppm o tanino, conforme a Figura 7, continua a apresentar remoções de turbidez acima de 85%, para as regiões ácidas e básicas, porém só remove em 65% para regiões neutras. O sulfato de alumínio apresenta agora remoções acima de 97% menos na região de pH 3.

Com um aumento de quase o dobro do coagulante, observa-se, na Tabela 8, que o alumínio atua agora em toda a faixa, enquanto o tanino em pH básico começa a reduzir sua eficiência no percentual de remoção de turbidez.

Tabela 8 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 3000 ppm.

Concentração inicial de coagulante 3000 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	92,12	79,21
4	97,58	96,16
5	80,54	99,82
6	53,49	99,80
7	35,56	99,70
8	32,52	99,69
9	47,72	99,69
10	58,35	99,78

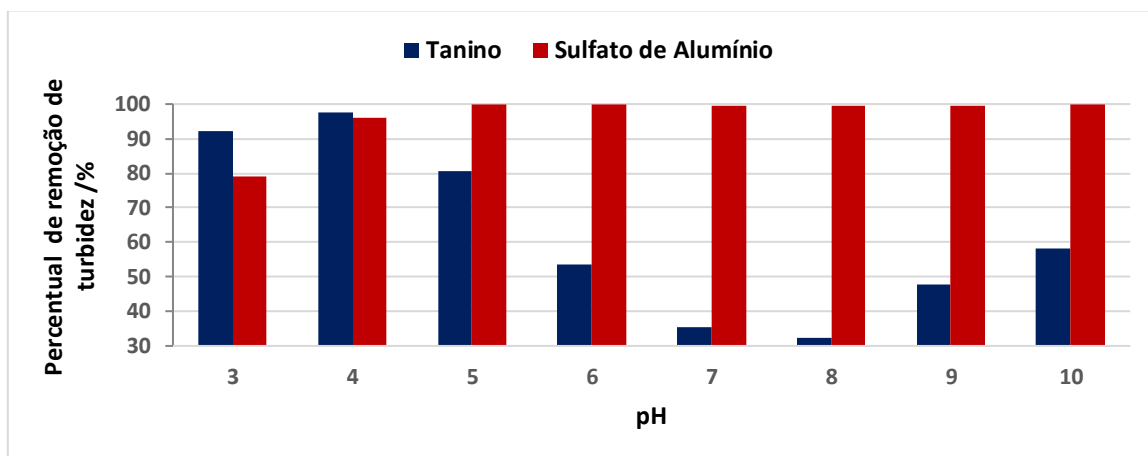
Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Observa-se na Tabela 8 que a remoção de turbidez deixa de ser eficaz para o tanino na região de pH básico, de 6 a 10. Comparado com o sulfato de alumínio que já apresenta uma remoção acima de 99% para quase toda a faixa de pH.

Pode-se inferir que em concentrações baixas de sulfato de alumínio, não há formação do composto insolúvel, já em concentrações altas há o excesso de hidróxido insolúvel no meio, mesmo após o arraste.

Ao comparar com os dados da Tabela 4, percebe-se que o excesso de tanino não permitiu que o mesmo remove-se a turbidez de forma eficaz na região básica. Ao comparar os dados anteriores com Figura 8, observava-se que o sulfato está em superdosagem desde 1750 ppm, sendo que o mesmo não atuou em pH 3.

Figura 8 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 3000 ppm.



Fonte: a autora.

Em comparação com os melhores resultados de Anjos (2016) a uma concentração de 2400 ou 2880 ppm de sulfato de alumínio, o índice de remoção de turbidez é de 99 a 100%, conforme a Figura 8 porém a remoção de cor e de carga orgânica é inferior aos valores tratados com 1920 ppm (mesmo coagulante), e os mesmos apresentam um volume de lodo maior.

Já o tanino com 2400 ppm apresentou uma melhor remoção da cor e da carga orgânica total, quando comparado a 2880 ppm, porém ainda apresenta uma formação de lodo maior, por apresentar maior concentração de Alumínio. A Tabela 9 apresenta valores mais tendenciosos, mostrando que com o aumento da dosagem tem-se um aumento da remoção de turbidez para os dois coagulantes.

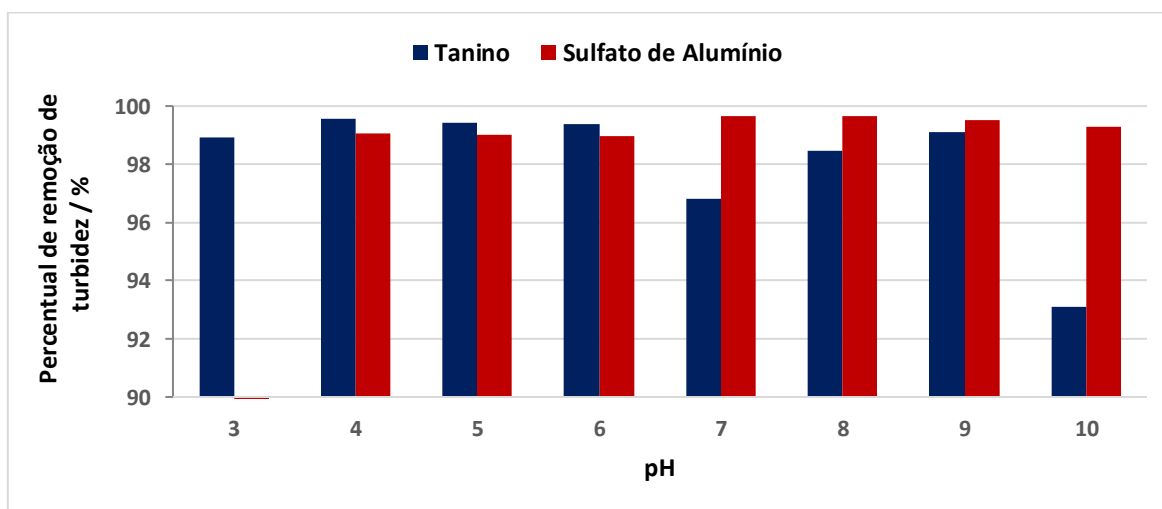
Tabela 9- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 4000 ppm.

Concentração inicial de coagulante 4000 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	98,94	27,35
4	99,56	99,05
5	99,42	99,00
6	99,40	98,96
7	96,83	99,64
8	98,44	99,64
9	99,12	99,54
10	93,08	99,31

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Observa-se na Tabela 9, uma melhora significativa no tratamento com o aumento da dosagem, desse modo o tanino apresentou remoções acima de 93% para todas as faixas. Porém o sulfato de alumínio ainda não consegue remover a turbidez no pH 3, ele consegue remover acima de 98% em todos os outros pHs. Pode-se inferir que o excesso de carga do tanino no meio fez com que tanino remove-se acima de 98% para uma faixa de pH entre 3 e 9. A partir da Figura 9 poderá se analisar melhor os dados.

Figura 9 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 4000 ppm.



Fonte: a autora.

Verifica-se na Figura 9 uma tendência de o tanino apresentar as melhores remoções para pH mais ácido enquanto o sulfato de alumínio tem uma melhor remoção, quando comparado com o tanino, em pH mais básico. Pode-se inferir que desde 4000 ppm o tanino está em superdosagem, atuando tanto em regiões tanto ácidas como básicas. A Tabela 10 apresenta outros valores do percentual de remoção para os dois coagulantes a 5000 ppm.

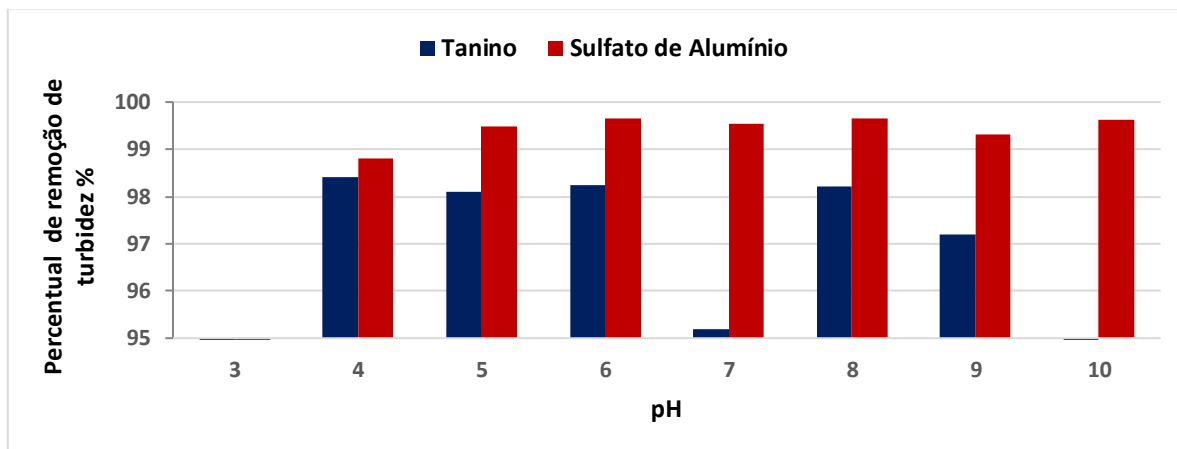
Tabela 10- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 5000 ppm.

Concentração inicial de coagulante 5000 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	76,21	37,95
4	98,41	98,80
5	98,10	99,47
6	98,23	99,66
7	95,18	99,55
8	98,20	99,66
9	97,19	99,31
10	68,29	99,62

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Verifica-se na Tabela 10 que tanto o tanino quanto o sulfato de alumínio apresentam excelentes valores de remoção turbidez para a faixa de pH de 4 a 10. Sendo que o segundo apresenta taxa de remoção de turbidez acima de 99% e se comporta mais estável, sem variação na faixa, já o primeiro apresenta resultados que vão de 68% a 98% variando durante o pH. A Figura 10 irá apresentar de forma comparativa os dados da Tabela 10.

Figura 10 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 5000 ppm.



Fonte: a autora.

Com o gráfico da Figura 10, observa-se que sulfato de alumínio tem a predominância nos valores acima de 98%, mantendo um padrão estável ao longo da faixa de pH. Já o tanino apresenta uma remoção acima de 95%, continuando a apresentar maiores remoções em áreas ácidas e básicas. Aqui ambos os coagulantes já se encontram em superdosagem, sendo difícil analisar minuciosamente o mecanismo de coagulação. Na Tabela 11 poderão ser inferidos os novos valores de remoção de turbidez para uma concentração de 7500.

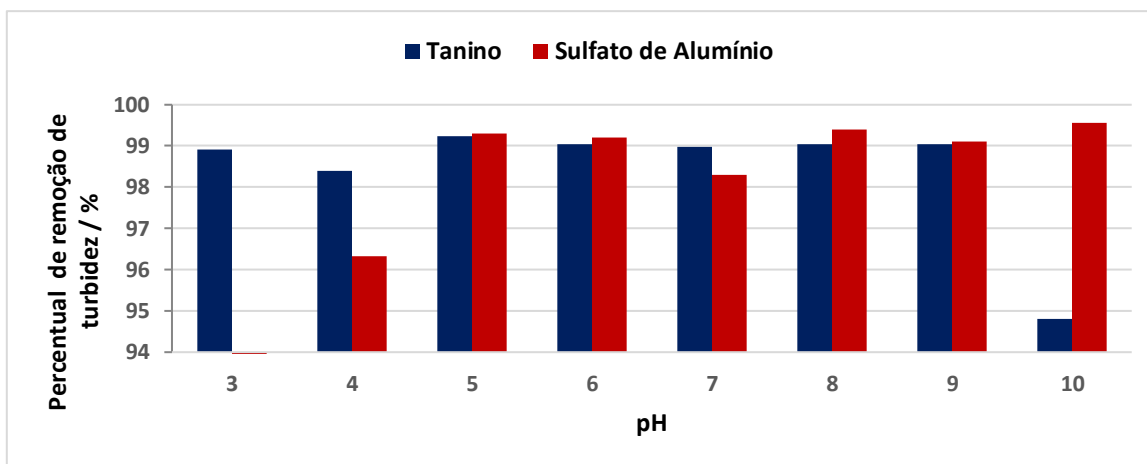
Tabela 11- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 7500 ppm.

Concentração inicial de coagulante 7500 ppm		
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>		
pH	Tanino	Sulfato de Alumínio
3	98,91	0,00
4	98,40	96,33
5	99,24	99,30
6	99,04	99,19
7	98,98	98,31
8	99,05	99,39
9	99,03	99,11
10	94,80	99,55

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Observa-se na Tabela e Figura 11 que o tanino que está em excesso apresenta os melhores valores de remoção até mesmo no pH 3 e os valores se apresentam quase todos constantes.

Figura 11 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação dos coagulantes a concentração fixa em 7500 ppm.



Fonte: a autora.

Observa-se na Figura 11 que o sulfato consegue remover a turbidez a uma taxa de acima de 99% para quase todos os pHs, exceto o pH 3, onde não há reação. E o coagulante tanino continua a apresentar remoções acima de 94% para toda a faixa de pH.

Nessa concentração, o tanino conseguiu além de apresentar uma remoção eficaz, removeu a cor presente no efluente final. Enquanto, que o sulfato mesmo nessa alta concentração, com uma alta remoção, ainda não conseguiu remover no efluente final a cor.

4.1.1 Considerações sobre o uso dos coagulantes individuais

A partir da análise dos dados pode-se inferir que a dosagem ideal do tanino é de 4000 ppm, no qual ele apresenta uma ótima remoção de turbidez para todos os pHs, enquanto o sulfato de alumínio seria de 1000 ppm.

O mecanismo de atuação do tanino se dá por compressão da dupla camada elétrica, em conjunto com a neutralização de cargas, formação de pontes e o aprisionamento coloidal. Já o sulfato de alumínio atua por meio da adsorção e neutralização de cargas.

A área de atuação do tanino se mostra mais eficiente entre os pHs 3 e 5, a partir de 250 ppm, e entre os pHs 9 e 10 a partir de 1750 ppm. Para concentrações acima de 4000 ppm o mesmo apresenta valores de remoção acima de 80%. O aspecto do efluente quando tratado com altas concentrações (7500 ppm) apresenta um caráter límpido, com remoção de cor (no aspecto visível). Para o sulfato de alumínio a remoção de turbidez se dá acima de 90% entre os pHs 4 e 10 para concentrações superiores a 1750 ppm. Apesar da alta remoção de turbidez no efluente tratado, este continua a apresentar uma coloração rosada forte.

4.2. Determinação da dosagem e pH de coagulação dos coagulantes primários aplicados concomitantemente

O intuito deste tópico é verificar que em baixas concentrações de sulfato de alumínio e de tanino, ao serem empregados juntos na coagulação removem mais o índice de turbidez, podendo gerar um lodo mais biodegradável e a remover a alta cor deste efluente. A seguir serão discutidos os resultados obtidos nas análises realizadas nos efluentes tratados com os coagulantes em concomitância.

O tanino associado com o sulfato de alumínio terá uma ação de coagulação diferenciada, atuando não mais por varredura, por pontes. A Tabela 12 apresenta os valores do percentual de remoção de turbidez no uso associado dos coagulantes tanino a dosagens variadas e sulfato de alumínio a uma concentração 7500 ppm.

Tabela 12- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.

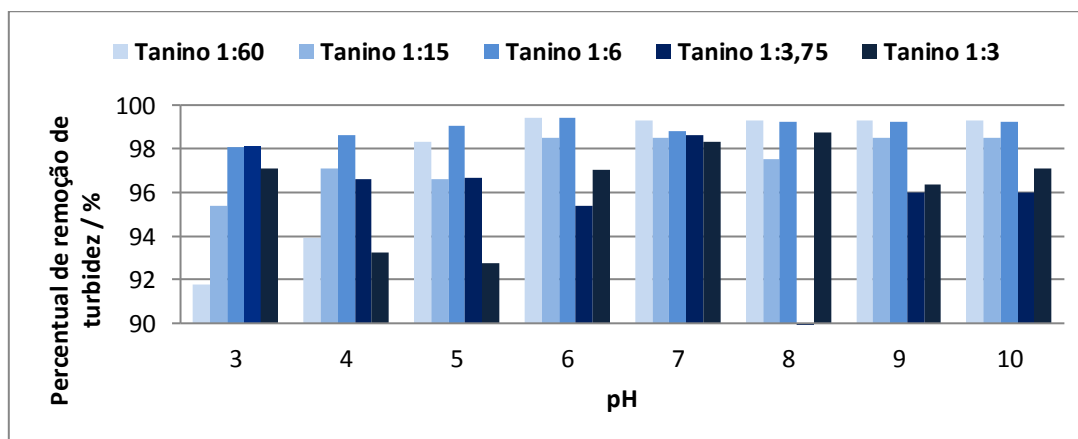
Variação da concentração de Tanino / ppm com Sulfato de Alumínio fixo em 7500 ppm

pH	<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>				
	Proporção Tanino: Sulfato				
	1:60	1:15	1:6	1:3,75	1:3
3	91,80	95,40	98,10	98,10	97,12
4	93,90	97,10	98,60	96,62	93,27
5	98,30	96,60	99,07	96,64	92,75
6	99,40	98,50	99,40	95,38	97,01
7	99,30	98,50	98,80	98,64	98,32
8	99,30	97,50	99,25	76,48	98,74
9	99,30	98,50	99,25	96,00	96,37
10	99,30	98,50	99,25	95,98	97,12

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

A princípio o que se observa na Tabela 12 são os altos valores de percentual de remoção para todas as concentrações de tanino em conjunto com o sulfato de alumínio em toda a faixa de pH. Na remoção do índice de turbidez para o uso individual dos coagulantes, tinha-se que no pH 3 o sulfato de alumínio não conseguia uma boa ação de coagulação. Observa-se na Figura 12 que para os menores valores de concentração de tanino se obtêm os melhores valores de remoção de turbidez a partir do pH 6, enquanto que acima da concentração de 2000 ppm os valores de remoção são menores.

Figura 12 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.



Fonte: a autora.

Ao observar a Figura 12 pode-se verificar melhor que mesmo baixas concentrações de tanino têm uma remoção de turbidez acima de 90% para todas as faixas de pH. E com o aumento do pH há um aumento da redução de turbidez. Assim os melhores valores para os diferentes pH são o da concentração de 1250 ppm para o tanino, contudo a partir do pH 5 a uma concentração de 125 ppm já seria o suficiente para obter 99% de redução.

Aqui há um excesso de Alumínio, que em quantidades menores de tanino apresenta uma maior remoção no pH básico devido a formação de um composto quelante que une o metal alumínio a estrutura do polímero tanino, permitindo agora a atuação em conjunto destes dois coagulantes que conseguem obter altas remoções para toda a faixa de pH.

Anjos (2016) relata considerável remoção de COT em baixas dosagens de sulfato de alumínio que foi potencializado com o uso conjunto do tanino, pois antes da concomitância o mesmo não apresentava eficiência para esta remoção.

Como se testou a redução da dosagem do coagulante sulfato de alumínio em conjunto com o coagulante tanino, na Tabela 13 são apresentados os valores obtidos do percentual de remoção de turbidez do uso associado entre o tanino a concentrações variadas com o sulfato de alumínio a 5000 ppm.

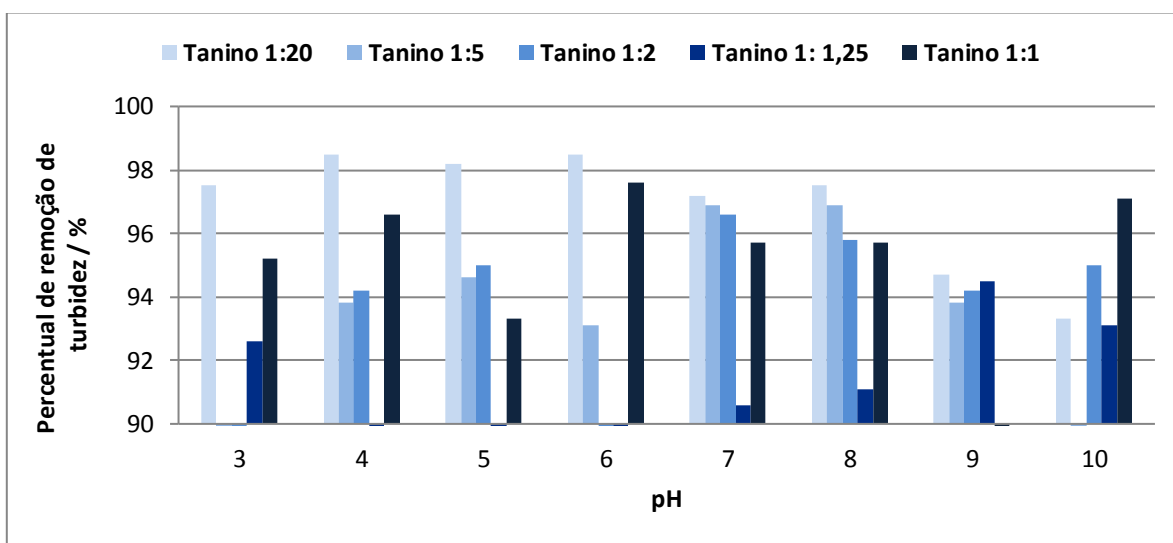
Tabela 13 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.

Variação da concentração de Tanino / ppm com Sulfato de Alumínio fixo em 5000 ppm					
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>					
Proporção Tanino: Sulfato de Alumínio					
pH	1:20	1:5	1:2	1:1,25	1:1
3	97,50	89,30	67,76	92,60	95,20
4	98,50	93,80	94,20	66,00	96,60
5	98,20	94,60	95,00	86,20	93,30
6	98,50	93,10	84,29	75,30	97,60
7	97,20	96,90	96,60	90,60	95,70
8	97,50	96,90	95,80	91,10	95,70
9	94,70	93,80	94,20	94,50	79,20
10	93,30	89,30	95,00	93,10	97,10

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Para todas as faixas de pH há uma boa remoção, acima de 90% conforme a Figura 13. Observa-se que com uma menor dosagem haveria um menor gasto de coagulante e por consequência no custo final do tratamento. O tanino catiônico possui caráter anfótero, devido a presença de aminas catiônicas e aniônicas ligadas aos fenóis do polímero. Isso faz com que se o meio está básico o tanino atua como catiônico e se o meio estiver básico o tanino atuará como aniônico.

Figura 13 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.



Fonte: a autora.

Conforme a Figura 13, mesmo na menor concentração de sulfato de alumínio (5000 ppm) e de tanino (250 ppm), em conjunto eles conseguem remover acima de 93% para toda a faixa de pH, se comparada com a Tabela 9, a Tabela 10 mesma se mostra a altura nos valores de remoção, mesmo a uma dosagem de coagulante menor.

Pode-se observar que na região ácida, no qual o tanino atua com catiônico, pelo meio já estar protonado não há a formação do composto quelante, prevalecendo só ação do tanino mesmo em baixa quantidade. Enquanto que no meio básico, a efetividade do tanino em menor concentração vai diminuindo, e vai havendo um excesso de carga aniônica no meio com dosagens de 4000 ppm a 5000 ppm de tanino.

A seguir a Tabela 14 trará uma nova concentração para os coagulantes, na qual o tanino apresenta uma maior proporção comparada com o sulfato de alumínio.

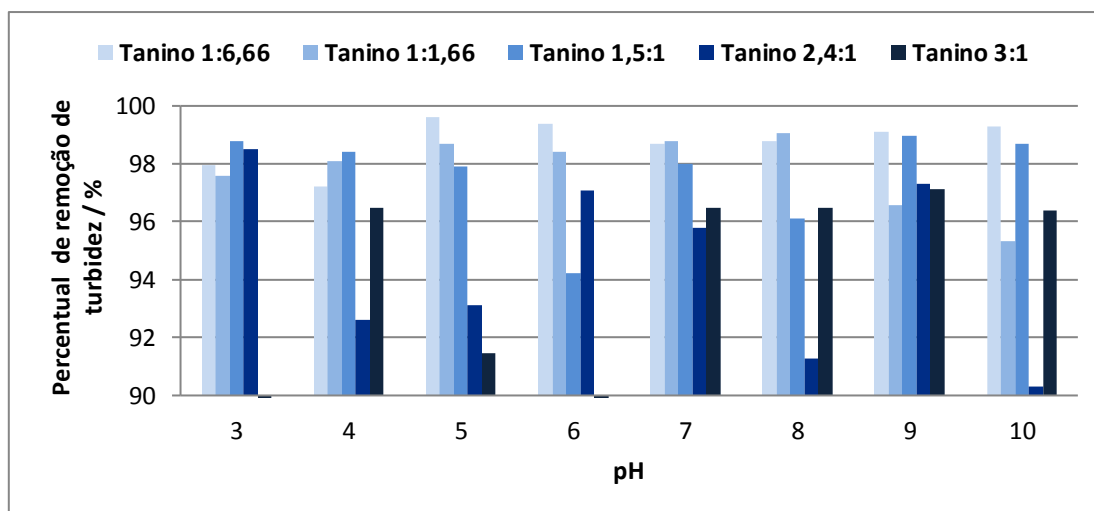
Tabela 14- Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.

Variação da concentração de Tanino / ppm com Sulfato de Alumínio fixo em 2500 ppm					
<i>Percentual de remoção de turbidez / %</i>					
Proporção Tanino: Sulfato de Alumínio					
pH	1:6,66	1:1,66	1,5:1	2,4:1	3:1
3	97,97	97,6	98,78	98,5	87,67
4	97,2	98,08	98,4	92,6	96,48
5	99,6	98,7	97,9	93,13	91,46
6	99,4	98,4	94,2	97,1	88,23
7	98,7	98,79	98	95,8	96,5
8	98,8	99,06	96,12	91,26	96,5
9	99,1	96,58	98,97	97,3	97,14
10	99,3	95,34	98,7	90,3	96,4

Fonte: Adaptada de Costa (2013).

Conforme Tabela 14, se depreende que seria considerada a melhor opção de dosagem, considerando a sustentabilidade do sistema assim como o custo benefício. Uma maior porção de tanino perante o sulfato de alumínio permite não apenas que o lodo seja biodegradável, mas que o efluente final tratado tenha removido mais de 98% do índice de turbidez. Mesmo para uma menor dosagem de sulfato de alumínio obteve-se valores altos de remoção de turbidez como apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Variação de percentual de remoção de turbidez em função do pH para aplicação em concomitância dos coagulantes.



Fonte: a autora.

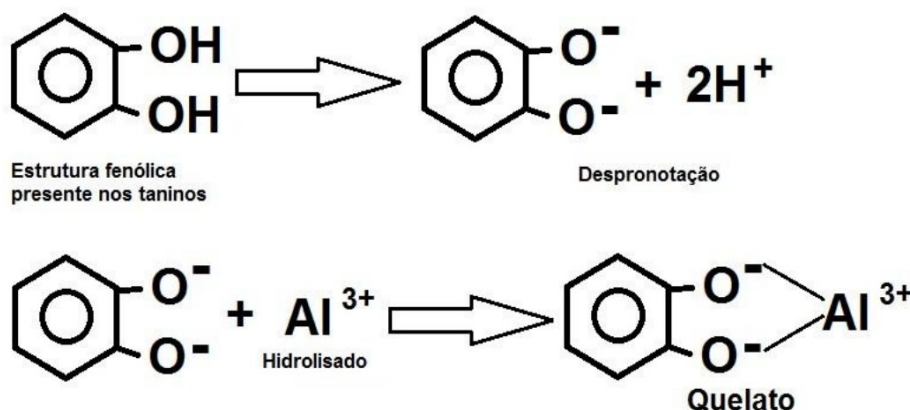
Pode-se observar na Figura 14, que os maiores valores de remoção podem ser encontrados para quase toda faixa de pH na menor dosagem de tanino. Essa associação por apresentar uma maior proporção de tanino fez com que houvesse uma maior remoção da cor do efluente final, quando comparado com as outras associações.

Para Costa (2013) a ação conjunta destes coagulantes teve como ponto de partida que as estruturas químicas formadas por hidrólise durante o processo de dissolução de ambos os coagulantes possam reagir como ácidos e bases de Lewis antes da atuação como coagulante no efluente.

Ainda segundo Yin (2010) e Keifer(2005) apud Costa (2013, p.86):

“Nos taninos a presença de grupos fenólicos indica, em princípio, uma natureza aniônica do coagulante de fonte renovável. Os grupos fenólicos podem ser facilmente desprotonados e sua base conjugada apresenta estabilidade química devido às várias estruturas de ressonância possíveis. Quanto maior for a disponibilidade de grupos fenólicos na estrutura tânica, maior será a geração de cargas, fator importante para o processo de coagulação. As duas estruturas químicas formadas por hidrólise possibilitam a formação de um quelato, onde o cátion Al^{3+} se coordenará à estrutura tânica desprotonada ou outra região da estrutura tânica que possua a presença de pares de elétrons não compartilhados. Os quelatos são compostos formados por íons metálicos ligados às estruturas orgânicas, cuja associação interfere diretamente na estabilidade e solubilidade que o metal apresenta após a ligação química formada. Desta forma, o quelato é um complexo metálico em que o metal faz mais ligações que a sua valência, ao se ligar a um doador de elétrons denominado ligante (compostos orgânicos que possuem cargas negativas ou pares de elétrons livres). Quando um ligante possui mais de um átomo doador de elétrons para o metal, o complexo formado pela interação de ambos se torna um anel heterocíclico denominado quelato.”

Figura 15 - Representação esquemática simplificada para formação do quelato entre a estrutura química do tanino e do cátion trivalente do alumínio.



Fonte: COSTA, 2013.

A partir das Figuras 12 e 14, observou-se que o efeito quelante acontece quando as hidroxilas estão desprotonadas do neutro para básico. O Tanino não atua em pHs

neutros e sulfato não atua em regiões ácidas (pH 3), com a formação dos quelantes foi possível removendo a turbidez em todas as faixas de pH. Costa (2013 p.87) traz que:

“A formação de quelatos entre o cátion alumínio trivalente (proveniente do sulfato de alumínio) e a estrutura fenólica desprotonada do tanino podem gerar um composto de maior estabilidade e com interações diferenciadas do que os constituintes individuais, já que estará afetando tanto a solubilidade quando a valência do alumínio, fornecendo um aumento na quantidade de cargas disponíveis para o processo de coagulação. Além disso, a formação deste quelato favorece o processo de coagulação por apresentar maior densidade mássica e disponibilidade para a complexação quando comparado ao uso isolado do tanino.”

4.2.1 Considerações sobre o a associação dos coagulantes

A associação do

coagulante tanino com o coagulante sulfato de alumínio mostrou que independente de quem estiver em excesso, haverá uma remoção do índice de turbidez acima de 90% para todas as concentrações e pHs analisados. Sendo que a associação 3:1(tanino e sulfato de alumínio) apresentou as maiores remoções de cor.

A partir de Costa (2013) pode-se inferir que

“A maior eficiência aqui apresentada se deve ao tanino possuir hidroxilas vicinais ao longo da estrutura aromática, que ao se dissociar, formam quelatos com o alumínio na forma hidrolisada, disponibilizando, assim, maior número de cargas e favorecendo a coagulação, essencialmente devido à expansão da valência do alumínio (formação de anéis de quelato). E consequente ao aumento da densidade mássica dos coagulantes (agora associados na mesma estrutura) facilitando a sedimentação do lodo, esse aumento do número de cargas favorecido pela formação do quelato entre a estrutura de tanino e do cátion de alumínio é de suma importância para remoção de cor.”

A remoção de cor do efluente final estava relacionada com as altas dosagens de tanino (7500 ppm), pois o mesmo reagia com os sólidos dissolvidos. Enquanto que em baixas concentrações o tanino efetuava a remoção de turbidez (removendo os sólidos suspensos). Mesmo em altas concentrações do sulfato de alumínio (7500 ppm) não foi observada remoção de cor, apesar das remoções de turbidez se mantiveram acima de 90%, indicando que o sulfato de alumínio, no efluente de lavanderia analisado, tem boa atuação apenas para remoção de turbidez.

Assim, a ação conjunta dos coagulantes permitiu ao tanino associar em sua estrutura um agente que tem boas remoções de turbidez (sulfato de alumínio) deixando livres sítios de atuação que permitiam a remoção de cor sem requerer altas dosagens do tanino. O quelato formado favoreceu a adsorção de substâncias que são atribuídas a fornecer cor ao efluente.

5 CONCLUSÕES

A partir dos gráficos provenientes dos diagramas de coagulação de Costa (2013), foi possível analisar melhor a atuação dos coagulantes tanino e sulfato de alumínio em uma ampla região de pH.

Observou-se que em pHs mais ácidos ou básicos, o tanino sozinho remove a turbidez mesmo em menores dosagens. Enquanto que o sulfato de alumínio, removeria a turbidez em maiores concentrações, para quase toda a faixa de pH.

Em regiões neutras o tanino não conseguia ter uma boa atuação, assim como em pH 3 o sulfato de alumínio não removia turbidez. Em associação, esses dois coagulantes conseguem uma remoção de cor mesmo para uma baixa dosagem (formação de pontes, os quelantes), além da remoção de turbidez, devido ao mecanismo de adsorção e compressão da dupla camada elétrica.

Ao final deste trabalho foi possível estabelecer uma proposta de tratamento para o efluente de lavanderia industrial, no qual a primeira etapa seria a caracterização analítica do efluente bruto, seguida pela remoção de óleos e graxas por meio da adição de ácido sulfúrico. Depois de ajustado o pH, o tanino (1500 ppm) seria aplicado associado ao sulfato de alumínio (1750 ppm), por meio da sedimentação haveria a remoção dos flocos e para descarte do mesmo seria feito um ajuste de pH, concluindo com uma nova caracterização analítica, agora do efluente tratado.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A.; DURAN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, 27, p. 818-824, 2004.

ANJOS, P. **Aplicação de sulfato de alumínio e taninos vegetais na coagulação-floculação de efluentes de curtume**. 111 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós – Graduação em Engenharia Química) – UFRGS, 2016.

BERLTRAME, L.T.C. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. 161 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - UFRN, 2000.

BICUDO, C.; TUNDISI, J.; SCHEUENSTUHL, M., orgs. B583a **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo, Instituto de Botânica, 2010. 224 p.

BILICH, R.; LACERDA, C. Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal (DF), por meio de geoprocessamento. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 2059-2065, 2005.

BRASIL. **Lei nº 9.478 de 6 de agosto de 1997**. Dispõe sobre a Política Energética Nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional de Petróleo e dá outras providências. Brasília, 6 de agosto de 1997.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional de águas . **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. – Brasília: ANA, SPR, 2005. 172 p.: il. (Cadernos de Recursos Hídricos).

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), **Resolução nº 430 de Maio de 2011**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2011.

_____. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014. 112 p.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias**. São Paulo: Cetesb, 1993.764p.

BRAYNER, F. **A caracterização dos efluentes gerados em uma tinturaria de brim índigos.** Artigo. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – USP, 2001.

CABANELAS, I.T.D.; MOREIRA, L.M.A. Estudo sobre o estado de preservação das nascentes do rio Sapato, Lauro de Freitas-BA. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, v. 6, n.2, p. 160-162, 2007.

CÉSAR NETO, J. C. A crise hídrica no estado de São Paulo. **Geousp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 19, n. 3, p. 479-484, 2016.

CORAL, L.; BERGAMASCO, R.; BASSETTI, F. J. **Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo.** 2nd International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, 9 p. , 2009.

COSTA, T. F. R. **Investigação de diagramas de coagulação utilizando coagulantes e auxiliares de coagulação de fontes renováveis.** 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

COUTO JUNIOR, O. M.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. **Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry.** Acta Scientiarum. Technology Maringá, v.35, n.1, p.83-88, 2013.

CRUZ, J. **Alternativas Para a Aplicação de um Coagulante Vegetal à Base de Tanino no Tratamento do Efluente de uma Lavanderia Industrial.** 76 f. Dissertação(Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Tecnologias Limpas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de água de abastecimento por filtração em múltiplas etapas.** São Carlos: EESC-USP, 1999. 121 p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Rio de Janeiro, RJ: ABES: Rima, v. 021, 2005.1565 p.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L.T.; DURAN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. New trends of treatment of industrial effluents containing organochloride species. **Química Nova**, v.23, n.4, p.504-511, 2000.

GOBBI, D.; GUARESCHI, C. Índice de Qualidade de Água no Campus I da Universidade de Passo Fundo – Parâmetros Físicos Químicos e Coliformes Fecais. In: **Anais I ELAUS, Universidades Sustentáveis, Possibilidades e Desafios**, 11p., 2008.

GUARANTINI, C.C. I.; ZANONI, M.V.B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v.23, n.1, p.71-78, 2000.

GUIMARÃES, P. S. **Tratamento de Águas Residuárias Oriundas da Purificação do Biodiesel por Coagulação Empregando Sulfato de Alumínio e Quitosana: Avaliação Preliminar**. 77 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, 2013.

JORGE, F. C.; BRITO, P. Cascas de árvores e seus extractos taninosos: propriedades e aplicações. **Vida Rural**, v.50, n.1689, p.19-22, 2003.

KAMMRADT, P. B. **Remoção de cor de efluentes de tinturarias industriais através de processo de oxidação avançada**. 107 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade Federal do Paraná, 2004.

KURITZA, J. C. **Aplicação da coagulação, floculação e sedimentação como pós tratamento de efluente de uma indústria de papel e celulose**. 127 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais)- UNICENTRO, Irati-PR, 2012.

MARTINS, P. L. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes no tratamento de efluentes industriais**. 54 f. Monografia (Graduação em Química Industrial) – Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis, 2015.

MERTEN, G.; MINELLA, J. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.

MILLER, G.T. **Living in the environment: principles, connections and solutions**. 13 ed. [S.I.]: Cole Publishers, Thomson Brooks, 2003. 720 p.

MIRANDA, R.A.C.; OLIVEIRA, M.V.S.; SILVA, D.F. Ciclo Hidrológico Planetário: abordagens e conceitos. In: **Geo UERJ**, [s.l.], v. 1, n. 21, 2010.

OTALARA, A.P.; CARVALHO, L. M. O tema água nos livros didáticos de ciências da natureza, o cotidiano (global-local) e as questões ambientais. In: **Anais VI Encontro “Pesquisa em Educação Ambiental”**, Ribeirão Preto, 14 p. ,2011.

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

PEREIRA, A.F.S. **Aplicação da eletroflotação no tratamento de efluente na indústria têxtil**. 90 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.

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

RICHTER, C. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009, 340 p.

ROZENO, N.S.; RIBEIRO, E.A.M.; CANOBRE, S.C.; FILHO, G.R.; AMARAL, F. A. A investigação de tanino como coagulante primário associado à poliacrilamida para tratamento de efluente de biodiesel. In: **Anais XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA** – Centro Oeste, 2016.

SALLES, P.T.F.; PELEGRINI, N.N.B.; PELEGRINI, R.T. **Tratamento eletroquímico de efluente industrial contendo corantes reativos**. Engenharia Ambiental- v.3, n.2, p.025- 040. Espírito Santo do Pinal, 2006.

SEBRAE, Ideias de Negócios Sustentáveis : Lavanderias. Sebrae, Brasília, 2012.

Disponível em:

<<http://www.sebraepr.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Lavanderia.pdf>>.

Acesso em: Maio de 2018.

SOARES, J. L. **Remoção de Corantes Têxteis por Adsorção em Carvão Mineral Ativado com Alto Teor de Cinzas**. 99 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

SOUZA, A.; SOUZA, E.; PEREIRA, N. Análise da utilização do coagulante tanino na remoção da cor, turbidez e dco do efluente têxtil de uma lavanderia industrial. p. 16320-16326 . In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química – COBEQ**, v.1, n.2. São Paulo: Blucher, 2015.

THOMPSON JÚNIOR, J.P. **Investigação da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluente de lavanderia industrial utilizando coagulante de fonte renovável tanino**. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

TUCCI, C.E.M. **Águas Urbanas**. Estudos avançados, São Paulo, v.22, n.63, 2008.

_____. Urbanização e Recursos hídricos. BICUDO, C.E.DE M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (Org.). In: **Águas do Brasil: Análises Estratégicas**. São Paulo. Academia Brasileira de Ciências / Instituto de Botânica, 2010.

TUNDISI, J.G; MATSUMURA-TUNDISI, T. Ciência, Tecnologia, Inovação e Recursos Hídricos: Oportunidades para o Futuro. BICUDO, C. E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (Org). In: **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo. Academia Brasileira de Ciências / Instituto de Botânica, 2010.

UNISUL. **Diagnóstico dos Recursos Hídricos e Organização dos Agentes da Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão e do Complexo Lagunar**, Tubarão, Vol.2 capítulo 4.5.4, 1998.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 231 p.

YIN, C. Y. **Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment**. Process Biochemistry. V.45. p. 1437 – 1444. Elsevier. 2010

WENTZ, F.; NISHIJIMA, T. A educação ambiental como meio de ação nas atividades agrícolas para preservação dos solos e da água nas comunidades rurais do município de Santo Ângelo – **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** REGT-CT/UFSM – RS, v (4), n°4, p. 558 - 571, 2011.