

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RAFAELA ANDRESSA CANEZIM

**EFICIÊNCIA DA AÇÃO DO COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO
E CLORETO FÉRRICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

RAFAELA ANDRESSA CANEZIM

**EFICIÊNCIA DA AÇÃO DO COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO
E CLORETO FÉRRICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira

LONDRINA

2021

17/05/2021

SEI/UTFPR - 2035474 - Graduação: Termo de Aprovação TCC Aluno



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEP. ACADEMICO DE AMBIENTAL-LD

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

EFICIÊNCIA DA AÇÃO DO COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO E CLORETO FÉRRICO NO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL

Por

Rafaela Andressa Canezini

Monografia apresentada às 16 horas 30 min. do dia 07 de maio de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Joseane Debora Perucio Theodoro	Membro
Prof. Dr. Rafael Montanini Soares de Oliveira	Membro
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira	Orientador
Prof. Dr. Orlando de Carvalho Junior	Professor(a) responsável TCCII

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que abriu as portas e me permitiu estar neste curso.

Aos meus pais, Lesner e Márcia, que me deram o melhor suporte e apoio nesses anos de estudo, não medindo esforços para que eu estivesse em todas as oportunidades que o curso proporcionou.

À minha irmã, Raquel, que esteve junto nessa jornada.

Aos meus Pastores, líderes e amigos da igreja que sempre foram compreensíveis e pacientes durante as etapas de estudo deste trabalho.

Aos amigos do curso de Engenharia Ambiental, pelos momentos que passamos juntos de alegria, descontração, estudos e pressão.

À todos os professores desta instituição, os quais tive o prazer de ser aluna.

Aos professores da banca, Joseane Debora Peruço Theodoro e Rafael Montanhini Soares de Oliveira pelas ideias e sugestões que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

À Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira, que me auxiliou durante todas as etapas desse estudo e sempre se mostrou disposta e presente. E à sua equipe que foi de grande valia durante os experimentos práticos desse estudo.

RESUMO

CANEZIM, R. A. **Eficiência da ação do coagulante sulfato de alumínio e cloreto férrico no tratamento de efluente têxtil**. 2021. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2021.

A relevância da indústria têxtil no país e no mundo é grande, visto que é um setor que cresce e desenvolve cada vez mais ao longo dos anos. A indústria têxtil é responsável por boa parte da poluição mundial das águas, gerando grandes quantidades de efluentes dos quais necessitam de tratamento prévio para descarte em corpo hídrico receptor. Neste contexto, o presente trabalho avaliou o desempenho dos coagulantes inorgânicos Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico no tratamento de efluente têxtil através dos processos de coagulação, floculação e sedimentação. Foram realizados ensaios em triplicata utilizando equipamento Jar-Test, com variação do pH (Pontencial Hidrogeniônico) do efluente em ácido, básico e neutro para observar o comportamento dos coagulantes em cada uma destas situações. As dosagens de Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico utilizados foram de 4 mL.L^{-1} e 2 mL.L^{-1} , respectivamente. Para avaliação desse desempenho foram analisados os parâmetros turbidez, sólidos totais dissolvidos (STD), condutividade elétrica e temperatura. De forma geral, o pH neutro obteve melhor resultado para a maioria dos parâmetros onde pode-se observar que o Sulfato de Alumínio apresentou melhores resultados, porém demonstrando pouca diferença comparativamente ao Cloreto Férrico. O valor de remoção encontrado para o Sulfato de Alumínio foi de 81,71% para turbidez e para o Cloreto Férrico 79,12%, o valor final para condutividade elétrica foi de $1640 \mu\text{S cm}^{-1}$ e 374,6 ppm para STD. Já para o parâmetro turbidez, o tratamento que apresentou melhor remoção foi o de pH ácido com o uso do Cloreto Férrico com 93,31%, seguido do Sulfato de Alumínio com 92,58%. Apesar do Sulfato de Alumínio com pH neutro ter apresentado melhor desempenho na análise da maioria dos parâmetros, não se chegou a uma conclusão exata de qual coagulante apresentou destaque, uma vez que cada parâmetro obteve êxito com características de tratamento diferentes.

Palavras-chaves: Efluente têxtil. Sulfato de alumínio. Cloreto férrico.

ABSTRACT

CANEZIM, R. A. **Efficiency of the action of the aluminum sulfate coagulant and ferric chloride in the treatment of textile wastewater**. 2021. 44 p. Capstone Project Final Paper. Bachelor degree in Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2021.

The relevance of the textile industry in the country and in the world is big, since it is a sector that grows and develops more and more over the years. It is responsible for a large part of the world's water pollution, generating large amounts of effluents that require prior treatment for disposal in the receiving water body. In this context, the present work rated the performance of inorganic coagulants, Aluminum Sulfate and Ferric Chloride in the treatment of textile effluent through the processes of coagulation, flocculation and sedimentation. In this way, triplicate tests were performed using Jar-Test equipment, with variation of the pH of the effluent in acid, basic and neutral to observe the behavior of the coagulants in each of these situations. The concentrations of aluminum Sulfate and Ferric Chloride used were 4mL.L^{-1} and 2 mL.L^{-1} , respectively. To evaluate this performance the parameters turbidity, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity and temperature were analysed. In general, the neutral pH obtained the best result for most of the evaluated parameters, where it can be seen that for the Aluminum Sulfate coagulant it did better results, but showing little difference compared to Ferric Chloride. The removal values found for Aluminum Sulfate were 81,71% for turbidity and 79,12% for Ferric clohride with a final value of $1640\ \mu\text{S cm}^{-1}$ for electrical conductivity and 374,6 ppm for TDS. As for the turbidity parameter, the treatment that was observed the best removal was that of acidic pH with the use of the Ferric Chloride coagulant, followed by Aluminum Sulfate with removals of 93,31% and 92,58%, respectively. Although Aluminum Sulfate with neutral pH has performed better in the analysis of most parameters, an exact conclusion has not been reached as to which coagulant stood out, since each parameter was successful with different treatment features.

Keywords: Textile wastewater. Ferric clohride. Aluminum sulfate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração básica da cadeia têxtil.....	14
Figura 2 - Aparelho Jar Test para simulação dos ensaios.	24
Figura 3 - Eficiência de remoção do parâmetro turbidez usando Sulfato de alumínio e Cloreto Férrico com variação de pH em ácido, neutro e básico.	28
Figura 4 – Valor médio residual de sólidos totais dissolvidos usando Sulfato de alumínio e Cloreto Férrico com variação de pH em ácido, neutro e básico.	31
Figura 5 - Comportamento da condutividade elétrica usando sulfato de alumínio durante os tempos de coleta com variação do pH.	34
Figura 6 - Comportamento da condutividade elétrica usando cloreto férrico durante os tempos de coleta com variação do pH.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros e metodologia utilizada segundo metodologia APHA (2017).	25
Tabela 2 - Valores do efluente bruto com variações de pH.....	27
Tabela 3 – Valores médios de turbidez (NTU) no decorrer do tempo de coleta.....	28
Tabela 4 – Valores médios de Sólidos totais dissolvidos (ppm) no decorrer do tempo de coleta.....	31
Tabela 5 - Valores médios de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) no decorrer do tempo de coleta.....	33
Tabela 7 - Valores médios de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no decorrer do tempo de coleta.	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL.....	13
3.2 CARACTERÍSTICA DO EFLUENTE TÊXTIL.....	15
3.3 PROCESSO DE TRATAMENTO	15
3.3.1 Coagulação e Floculação	15
3.3.2 Sedimentação.....	17
3.4 COAGULANTES INORGÂNICOS.....	18
3.4.1 Cloreto Férrico	18
3.4.2 Sulfato de Alumínio.....	19
3.5 LEGISLAÇÃO	21
4 METODOLOGIA.....	23
4.1 LOCAL DE COLETA E DE ENSAIO	23
4.2 PRÉ-ENSAIO	23
4.3 ENSAIO	23
4.4 PARÂMETROS ANALISADOS	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.1 TURBIDEZ	27
5.2 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	30
5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	33
5.4 TEMPERATURA.....	36
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

Uma indústria pode gerar resíduos líquidos por diversos meios, como na incorporação ao produto; lavagem de equipamentos, pisos, tubulações; no processo industrial e esgoto sanitário. Esses resíduos líquidos uma vez não tratados devidamente podem gerar alterações na qualidade dos corpos receptores, resultando em sua poluição, ou seja, alterações químicas, físicas e biológicas, ultrapassando os padrões estabelecidos na Resolução CONAMA 357 de 2005 e 430 de 2011 para a Classe do corpo hídrico em questão (GIORDANO, 2004).

Efluentes industriais podem ser bastante nocivos, uma vez que há a possibilidade de conter óleos, metais pesados e substâncias que podem gerar sérios problemas ambientais. Por isso o tratamento desses resíduos se torna imprescindível antes de serem despejados nos corpos hídricos. O tratamento para os diversos efluentes varia conforme a presença de contaminantes e a carga poluidora (FOGAÇA, 2020).

Existem diversos métodos utilizados para o tratamento de efluentes contaminados, dentre eles podemos apontar os processos de coagulação, floculação e sedimentação. Basicamente, a coagulação é a desestabilização coloidal através da adição de coagulantes químicos. Esses coagulantes habitualmente são sais de ferro ou de alumínio ou de polímeros sintéticos (PAVANELLI, 2001). Os coagulantes inorgânicos além de terem baixo custo possuem boa eficácia no processo de coagulação, proporcionando assim, êxito nas etapas do tratamento (BARBOSA et al., 2019).

Dentre as diversas indústrias, a têxtil atualmente está entre as mais poluidoras do mundo, gerando grandes quantidades de efluentes durante seu processo de produção (AMDA, 2018). A preocupação com o tratamento desses resíduos líquidos se torna cada vez mais pertinente, pois uma vez não tratados, aos serem lançados em corpos hídricos podem causar sérios danos ao meio ambiente, causando o esgotamento do oxigênio dissolvido e conseqüentemente o desequilíbrio desse ecossistema. Devido também a presença de corantes, a fotossíntese pode ser prejudicada, enfraquecendo a solubilidade de oxigênio, gerando impactos tóxicos na flora e fauna aquática e resultando em uma poluição visual (LALNUNHLIMI, KRISHNASWAMY, 2016).

Dessa maneira, levando-se em conta o crescente mercado têxtil e a necessidade de evolução em tecnologias para o desenvolvimento dos processos de tratamento do efluente, o presente estudo busca contribuir com o tema e tem como objetivo analisar e comparar a eficiência dos coagulantes inorgânicos sulfato de alumínio e cloreto férrico, no tratamento de efluentes da indústria têxtil.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho que os coagulantes inorgânicos sulfato de alumínio e cloreto férrico possuem no tratamento de efluentes oriundos da indústria têxtil através do processo de coagulação, floculação e sedimentação.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analisar o comportamento dos parâmetros pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e temperatura;
- Comparar os resultados obtidos com a Resolução CONAMA 357/05 e 430/11;
- Verificar a ocorrência de diferença considerável entre os tratamentos encontrando o melhor coagulante para efluente têxtil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

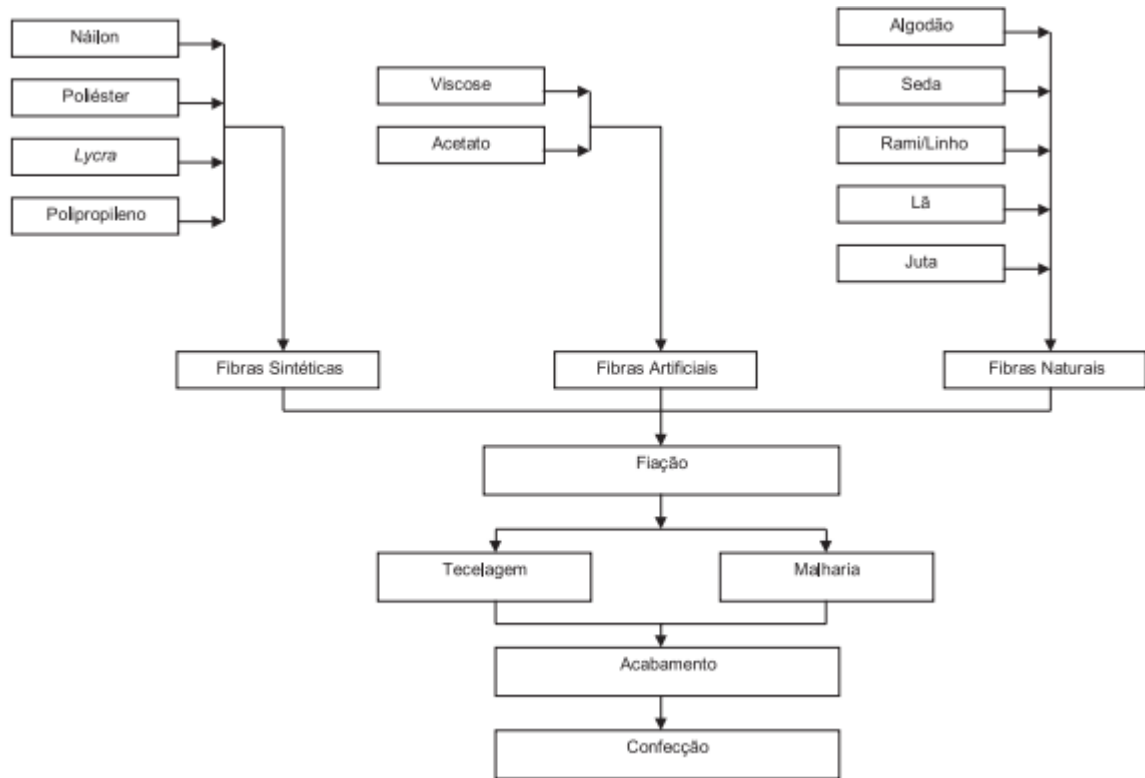
A indústria têxtil é uma indústria que fornecem os fios para fabricação de tecidos utilizados na confecção de diversos tipos de roupas. O setor se desenvolveu durante a revolução industrial, entre os séculos XVIII e XIX, e no Brasil é uma das indústrias que mais se destaca, pois é o terceiro maior setor exportador de malhas do país, além do que, investem muito em novas tecnologias e automação (MULTJR, 2019).

A relevância da indústria têxtil no país pode ser evidenciada através de números, o ramo corresponde a 2,4% da fabricação mundial. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e da Confecção (ABIT) o setor corresponde a 16,7% dos empregos no Brasil, e de acordo com o Comitê da Cadeia Produtiva da Indústria Têxtil, Confecção e Vestuário (Comtextil), existem 27 mil indústrias no país e a perspectiva é que o segmento da moda se desenvolva 3,1% até 2021(FCEM, 2019).

Com todo o tamanho e desenvolvimento do setor têxtil, tem-se como consequência a geração de resíduos. O maior impacto causado pela indústria é no emprego da água nas etapas da produção têxtil. Segundo a Associação Mineira de Defesa do Meio Ambiente (2018) a indústria têxtil consome por ano cerca de 93 bilhões de metros cúbicos de água, e 20% da poluição mundial das indústrias sobre a água originam-se do mercado têxtil. Isso faz com que o setor busque cada vez mais alternativas para a reutilização dos recursos hídricos e tecnologias que promovam o tratamento de qualidade do efluente (MULTJR, 2019).

De acordo com IEL (2000) a cadeia de produção têxtil tem seus contornos básicos demonstrados conforme a Figura 1.

Figura 1 - Configuração básica da cadeia têxtil.



Fonte: IEL (2000).

A água na indústria têxtil tem função de transportar os produtos químicos para dentro do processo, tal como remover excessos de produtos indesejáveis (MONTEIRO, 2018). Ela está presente em basicamente todas as etapas. De forma indireta para realizar processos de resfriamento e aquecimento, e de forma direta nas etapas de beneficiamento ou acabamento, como no processo de lavagem, amaciamento e tingimento (TWARDOKUS, 2004).

As etapas de alto consumo de água estão as de tingimento e acabamento, gerando grande quantidade de efluente danoso ao meio ambiente, devido à utilização de produtos químicos e corantes (SCHULTZ E ZAGONEL, 2009). Na etapa de tingimento, por exemplo, tem-se a fixação do corante à fibra, o que envolve um processo de lavagem em água corrente para a remoção do excesso de corante que não havia fixado. Com isso, temos a geração de um efluente colorido (GUARATINE E ZANONI, 1999).

Além da poluição visual, esses efluentes causam alterações nos ciclos biológicos, afetando também processos de fotossíntese. Estudos mostram que alguns

gêneros de corantes envolvidos no processo podem ser mutagênicos e carcinogênicos (BROW¹, 1993 apud KUNZ et al., 2002).

3.2 CARACTERÍSTICA DO EFLUENTE TÊXTIL

Devido à enorme diversidade de processos, produtos, matérias-primas, equipamentos e técnicas utilizadas na indústria têxtil, os efluentes possuem grande variedade em sua composição (BELTRAME, 2000). Normalmente esses resíduos têxteis são alcalinos e com alta carga orgânica (Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e Demanda Química de Oxigênio - DQO). Podem conter sólidos, graxa, agentes antiespumas, lubrificantes, óleos minerais e compostos halogenados e orgânicos.

Devido ao alto uso de corantes pode haver metais pesados com elevada toxicidade à humanos e à animais aquáticos (CAIXA, 2018). Basicamente a carga poluidora do efluente é orgânica e as indústrias que possuem as etapas de estamparia e tingimento apresentam também a carga inorgânica (NIETO, 1993).

Os valores médios de composição de efluentes têxteis variam muito de um resíduo líquido para o outro, pois sua constituição final depende dos processos empregados, do tipo de fibra e da quantidade de água e produtos utilizados no mesmo.

3.3 PROCESSO DE TRATAMENTO

Existem vários processos de tratamento para efluentes têxteis. Eles são divididos em processo preliminar, tratamento primário e tratamento secundário (CARREIRA, 2006). Neste trabalho utilizaremos o tratamento primário que envolve processos físico-químicos como a coagulação, floculação e sedimentação

3.3.1 Coagulação e Floculação

A fim de facilitar a remoção de partículas suspensas ou dissolvidas que podem provocar a presença de cor, turbidez, sabor, odor e diversos outros tipos de contaminantes orgânicos e inorgânicos na água ou no efluente, o processo de coagulação química é utilizado (HELLER E PÁDUA, 2010). Esse processo consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas através de ações químicas e físicas entre o coagulante adicionado e o meio em que o mesmo está inserido

¹ Brown, M. A.; Devito, S.C.; Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 1993, 23, 249.

(LIBÂNIO, 2010). O objetivo é gerar partículas com tamanho ideal para que possam ser retiradas no processo de sedimentação (RICHTER, 2009).

A coagulação é realizada na unidade de mistura rápida e a sua eficiência influencia nas demais etapas do tratamento, reduzindo o custo do metro cúbico, aumentando a duração das carreiras de filtros e favorecendo a qualidade microbiológica do efluente que está sendo tratado (LIBÂNIO, 2010).

Alguns fatores como o tipo e concentração do coagulante, pH, alcalinidade, gradiente de velocidade, o tempo de agitação na unidade de mistura rápida, presença de íons, temperatura, natureza e distribuição do tamanho das partículas, podem interferir em maior ou menor relevância no processo de coagulação (LIBÂNIO, 2010).

De modo geral o processo de coagulação inicia-se com a adição de coagulantes na unidade de mistura rápida, onde ocorre a dispersão do coagulante no efluente, que possuem impurezas coloidais que não se sedimentam sob a ação da gravidade. Os coagulantes são insolúveis em meio aquoso, e produzem cátions, atraindo assim as impurezas de cargas negativas do efluente. Desse modo as partículas poluentes se desestabilizam sofrendo assim a aglutinação, favorecendo com isso a aglomeração em flóculos (FOGAÇA, 2020).

A desestabilização das partículas podem ocorrer de quatro formas:

- Na compressão da dupla camada elétrica, onde a força repulsiva das partículas é reduzida, se aproximando pelo movimento browniano e permanecendo unidas pela força de van der Waals (DAVIS, 2010);
- Na neutralização e adsorção de carga que ocorre após a aplicação do coagulante, onde as partículas em suspensão são desestabilizadas eletricamente (LIBÂNIO, 2010);
- Na formação de pontes poliméricas e adsorção, que consiste em adicionar eletrólitos para adsorção das partículas (LIBÂNIO, 2010);
- E na varredura, onde sais de ferro ou alumínio são acrescentados aos efluentes em altas dosagens, formando precipitados e captando colóides por emaranhamento ou por adsorção (DAVIS, 2010).

Comumente a coagulação é seguida pela floculação que ocorre na fase de mistura lenta e esses processos estão intrinsecamente ligados. Após a obtenção das partículas desestabilizadas pela ação do coagulante, inicia-se com a floculação a

junção dessas partículas, com o objetivo de formar flocos propiciando assim a separação posterior por sedimentação (RICHTER, 2010).

A formação dos flocos dá-se devido aos choques induzidos por seu movimento relativo. No processo temos três mecanismos de transporte que proporcionam isso, a floculação pericinética que ocorre quando o movimento das partículas é ocasionado pelo movimento Browniano, a ortocinética que é quando o movimento é ocasionado por meio de gradiente de velocidade gerado na água por seu movimento (floculação hidráulica) ou através de agitadores mecanizados (floculação mecânica) (RICHTER E NETTO, 1991); e a sedimentação diferencial que refere-se as diferentes velocidades de sedimentação do floco (LIBÂNIO, 2010). A eficácia da coagulação e floculação depende da turbidez da água decantada e do consumo de coagulante (RICHTER E NETTO, 1991).

3.3.2 Sedimentação

A sedimentação é uma técnica de remoção das partículas sólidas em suspensão usada no processo de clarificação e dá-se através da ação da força da gravidade agindo sobre as partículas de densidade superior ao do meio de modo a separá-las e depositá-las em uma superfície (RICHTER E NETTO, 1991).

A sedimentação simples ou do tipo 1 pode ser modelada matematicamente através da Lei de Stokes e é usada em situações em que os sólidos são volumosos o suficiente para sedimentar sem o uso de coagulantes e em caixas de areia. Ela expõe como vantagens o baixo custo operacional e o lodo gerado menos sujeito a problemas de disposição final devido a exclusão do uso de produtos químicos. Contudo, a velocidade de sedimentação é baixa (HELLER E PÁDUA, 2010). Em razão da ineficiência da sedimentação simples de remover partículas em estado coloidal, volta-se ao uso de coagulantes químicos para que se formem flocos que sedimentam com facilidade (RICHTER E NETTO, 1991).

A sedimentação floculenta ou do tipo 2 é realizada no decantador primário e é descrita por partículas que floculam durante o processo de sedimentação devido ao uso de coagulantes, tendo assim maior velocidade de sedimentação. Não há relações matemáticas para descrever o processo, pois as partículas floculantes mudam constantemente de tamanho, forma e peso específico (DAVIS, 2010).

A sedimentação zonal ou do tipo 3 ocorre quando a água contém alta concentração de partículas e conseqüentemente a área livre entre elas é reduzida. As partículas mantêm a mesma posição relativa e como resultado tendem a assentar em zona, como um manto. A taxa de sedimentação é em função das características das partículas e sua concentração (DAVIS, 2010).

Segundo este mesmo autor, a sedimentação em compressão ou do tipo 4 é continuação do tipo 3. A medida que há a criação da camada de lodo, as partículas são comprimidas devido a massa que está sobre elas, fazendo com que o líquido que está entre a camada seja excluído.

3.4 COAGULANTES INORGÂNICOS

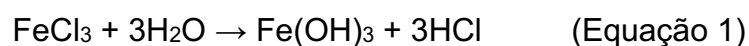
Devido a impossibilidade de remoção das partículas coloidais apenas por sedimentação, o uso de produtos químicos como sais de ferro e alumínio, são utilizados no processo de coagulação, a fim de unir essas partículas e facilitar os processos seguintes (PAVANELLI, 2001).

Dentre os principais coagulantes inorgânicos estão os: sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxocloreto de alumínio e sulfato férrico (PAVANELLI, 2001). Estes quando dissolvidos em água podem modificar-se em compostos gelatinosos de carga positiva (BORBA, 2001).

3.4.1 Cloreto Férrico

A reação a quente do ácido clorídrico, junto com o minério de ferro seguidamente de resfriamento e filtração, produz o Cloreto férrico com alto índice de pureza. A concentração final do produto é cerca de 40% em peso de FeCl_3 (Cloreto férrico). O uso do cloreto férrico minimiza eficientemente a DBO, a turbidez e elimina fosfatos. Quando a coagulação é efetivada em valores de pH elevados, altas quantidades de metais pesados também são eliminados (PAVANELLI, 2001).

A reação demonstrada na Equação 1 diz respeito a reação de hidrólise do cloreto férrico e é a responsável pela formação de hidróxido de ferro, que se comporta como coagulante em meio as partículas (MAGNAN, 2010):



Costa Junior et al. (2013) avaliaram quão eficiente foi o uso de coagulantes químicos, como o cloreto férrico e sulfato de alumínio no tratamento de efluentes

têxteis e observaram maior eficiência no uso do cloreto férrico do que do sulfato de alumínio, obtendo-se uma remoção de 88,9% de DBO; 85,6% de DQO e 96,2% de turbidez, aplicando 800mgL^{-1} de cloreto férrico com um tempo de sedimentação de 3 horas e com pH de 2,74.

Já de acordo com estudos feitos por Moreira (2016), foram testados e comparados a eficiência dos coagulantes cloreto férrico e do polímero natural tanino no tratamento de efluentes têxteis. Os resultados obtidos mostraram maior eficiência de remoção do cloreto férrico com concentração de 800mgL^{-1} , alcançando remoções de 13,2% em sólidos totais, 25% de cor aparente, 47,6% de turbidez e reduzindo o pH do efluente para 4,29.

Estudos feitos em efluentes têxteis por Fortino (2012) onde comparou-se a eficiência da combinação dos tratamentos de coagulação, floculação e processo de separação por membrana de ultrafiltração e osmose inversa, utilizando o cloreto férrico e o sulfato de alumínio como coagulantes obtiveram maior êxito com o coagulante cloreto férrico em uma dosagem de 50mgL^{-1} e $0,3\text{mgL}^{-1}$ de floculante comercial, com remoções de 98% de turbidez.

Conforme estudos feitos por Paula (2016) para o tratamento de efluente têxtil para remoção de cor através dos processos de Coagulação e Floculação (usando os coagulantes Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio), Adsorção em carvão ativado em pó e Ozonização, obteve-se maior êxito com o processo físico-químico de coagulação e floculação, com o coagulante Cloreto Férrico e também o sulfato de alumínio com eficiências de remoções de cor de 67% e 71%, respectivamente.

Já em estudos feitos por Freire e Freitas (2010) ao tratarem efluentes têxteis com os coagulantes cloreto férrico e quitosana, foi observado maior desempenho para o cloreto férrico, onde obtiveram com concentração de 40mg.L^{-1} 99% de remoção de cor.

3.4.2 Sulfato de Alumínio

O sulfato de Alumínio tem como fórmula química $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3.n\text{H}_2\text{O}$, onde “n” possui por volta de 14 a 18 moléculas de água de cristalização. Com 14 moléculas de água de cristalização é cerca de 12% mais duro do que com 18. O Sulfato de alumínio líquido é produzido através do hidrato de alumínio e tem composição química com 7 a 8% de alumina (Al_2O_3), pois acima de 8,26% ele pode cristalizar. Quando em boa qualidade ele é incolor e não apresenta resíduos insolúveis (PAVANELLI, 2001).

O Sulfato de Alumínio apresenta melhor eficiência entre o pH de 5,5 e 8,5. Quando acrescentado na água, o coagulante sofre reações complexas de hidrólise e dissocia-se depressa, conforme a reação química demonstrada na Equação 2 (ROSALINO, 2011).



Em estudo realizado por Marques et al. (2017) foi avaliado a eficiência do uso do coagulante sulfato de alumínio no processo de coagulação do efluente de estamparia, obtendo-se êxito com pH de 8 e dosagem de 450mg.L⁻¹. Foram apresentados remoções de 99,97% de cor aparente; 99,95% de turbidez; 85,58% de DQO e 88,32% de sólidos totais.

Com o objetivo de verificar a eficiência de 3 métodos de tratamento do efluente têxtil, dentre eles especificamente a coagulação/sedimentação, a ozonização e o fenton, Halasz e Tosato Jr (2011) através do uso do sulfato de alumínio como coagulante obtiveram êxito em alcançar os padrões para lançamento no corpo receptor em todas as técnicas, porém as reduções máximas ocorreram com o método de coagulação/sedimentação seguido de ozonização, com reduções de 94,39% de sólidos sedimentáveis; 93,5% de sólidos totais dissolvidos; 78,1% de DQO; 67,5% de DBO; 98,3% de turbidez e 96,6% de cor aparente. O pH do efluente foi corrigido para 6,5 e a concentração de sulfato de alumínio usado foi de 0,04%.

Em estudos realizados em efluentes de lavanderia têxtil por Silva et al. (2019) com o uso do sulfato de alumínio como coagulante, obteve-se êxito de remoção de DQO de 93,08% e dosagem de sulfato de alumínio de 200 mgL⁻¹. Já para os parâmetros de cor e turbidez, obteve-se êxito com dosagem do coagulante de 150 mgL⁻¹, com remoções de 11,28% e 70,43% respectivamente.

Estudos realizados por Souza et al. (2016) avaliaram a eficiência dos coagulantes PAC (Policloreto de Alumínio), sulfato de alumínio e tanino. Todos os coagulantes apresentaram características físico-químicas dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA n° 430/2011. No entanto, a maior eficiência de remoção se encontrou com o coagulante PAC com concentração de 0,2 mg.L⁻¹ removendo 88% de cor aparente, 70% de DQO, 77% de cor real e 77% de turbidez; já o sulfato de alumínio obteve, com concentração de 200 mg.L⁻¹, remoção de DQO de 53,49%, cor aparente de 91,67%, cor real 85% e turbidez de 77,14%.

Rodrigues (2014) em estudo sobre o tratamento de efluente têxtil comparou a eficiência dos coagulantes policloreto de alumínio (PAC) e sulfato de alumínio, onde os resultados obtidos foram satisfatórios para os dois tipos de coagulantes, obtendo-se praticamente o mesmo resultado em ambos, apenas com diferença de 1% nos parâmetros analisados de cor, turbidez e DQO. Os resultados obtidos com o PAC foram de 83% para o parâmetro cor, 87% para turbidez e 40% para DQO. Já para o coagulante Sulfato de Alumínio obteve-se remoções de 82% para cor, 86% para turbidez e 39% para DQO.

3.5 LEGISLAÇÃO

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou em 13 de Maio de 2011 a Resolução nº 430 que diz respeito às condições, parâmetros, padrões e diretrizes de lançamento de efluentes em corpos de águas receptores e que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). De acordo com o Art. 3º da Resolução CONAMA nº 430 independente da fonte poluidora, os efluentes poderão somente ser lançados em corpos hídricos após tratamento preliminar de acordo com as condições, exigências e padrões presentes nesta Resolução em e outras normas (BRASIL, 2011).

É estabelecido no Art. 16 da Resolução CONAMA nº 430/11 limites para parâmetros orgânicos e inorgânico para lançamento em corpos hídricos. Ainda no mesmo artigo é especificado condições de parâmetros de lançamento de efluentes em corpos hídricos, como:

- pH entre 5 a 9;
- Temperatura inferior a 40°C com a variação de temperatura do corpo receptor não excedendo a 3°C no limite da zona de mistura.
- A DBO 5 a 20°C com remoção mínima de 60% de Demanda Bioquímica de Oxigênio, em que esse limite só pode ser reduzido acaso haja um estudo de autodepuração do corpo hídrico comprovando que atendeu as metas do enquadramento do corpo receptor.

De acordo com o Art. 19 da Resolução CONAMA nº 430/11 será determinado pelo órgão ambiental competente quais empreendimentos e atividades devem realizar

ensaios de ecotoxicidade, de acordo com os atributos dos efluentes gerados e do corpo receptor (BRASIL, 2011).

Na Resolução CONAMA n° 357, tem-se especificações sobre a classificação do corpo hídrico receptor e parâmetros estabelecidos (BRASIL, 2005). De acordo com a classificação para águas doces, Classe 1 tem-se:

- Cor verdadeira: nível de cor natural em mg Pt.L⁻¹;
- Turbidez de até 40 NTU (Unidade de Turbidez Nefelométrica);
- DBO 5 dias a 20°C até 3 mg.L⁻¹ O₂ ;
- OD (Oxigênio Dissolvido), em qualquer amostra, não inferior a 6 mg.L⁻¹ O₂ ;
- pH 6,0 a 9,0.
- Sólidos dissolvidos totais 500 mg.L⁻¹.

Para padrões de lançamento em águas doces de Classe 2, tem-se no Art. 15 que (BRASIL, 2005):

- Cor verdadeira de até 75 mg Pt.L⁻¹;
- Turbidez de até 100 NTU;
- DBO 5 dias a 20°C até 5 mg.L⁻¹ O₂ ;
- OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg.L⁻¹ O₂.

Em rios de águas doces de Classe 3 tem-se no Art. 16 que (BRASIL, 2005):

- Cor verdadeira de até 75 mg Pt.L⁻¹;
- Turbidez de até 100 NTU;
- DBO 5 dias a 20°C até 10 mg.L⁻¹ O₂ ;
- OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg.L⁻¹ O₂.
- pH 6,0 a 9,0;
- Sólidos dissolvidos totais 500 mg.L⁻¹.

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL DE COLETA E DE ENSAIO

O efluente têxtil foi coletado de forma bruta sem nenhum tratamento prévio, em recipientes de polietileno de 50 litros.

Os ensaios e análises aconteceram no Laboratório de Recursos Hídricos, localizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina.

4.2 PRÉ-ENSAIO

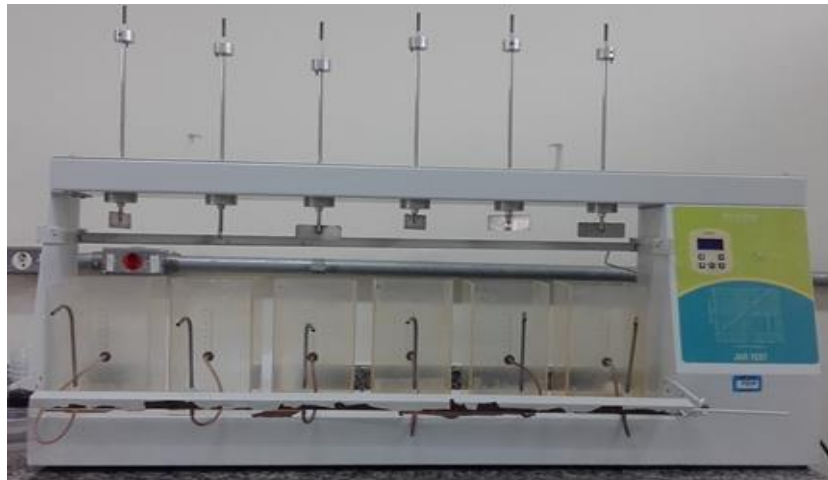
A fim de encontrar a dosagem ideal para cada coagulante a ser utilizado no ensaio, foram realizados pré-ensaios. Foi preparada uma solução para cada tipo de coagulante, que consistiu na diluição de 10 g de coagulante em 1 L de água destilada, isso tanto para o Sulfato de Alumínio como para o Cloreto Férrico. Posteriormente, aos béqueres contendo 100 mL do efluente têxtil, foi adicionado a solução coagulante em diferentes concentrações. Após a adição aguardou-se um tempo para que o processo de coagulação/floculação acontecesse.

Por fim, analisou-se qual solução apresentou melhor nível de floculação, e então foi determinado qual a dosagem a ser utilizada no experimento. Esse processo foi repetido com todos os coagulantes para que a concentração fosse definida de acordo com cada propriedade de cada coagulante. Determinou-se 4 mL.L⁻¹ de concentração para o coagulante sulfato de alumínio e 2 mL.L⁻¹ para o coagulante cloreto férrico.

4.3 ENSAIO

Os ensaios foram executados em triplicata, com o uso das médias dos valores obtidos e em aparelho Jar-Test contendo este 6 jarros com capacidade de 2 L cada, conforme a Figura 2.

Figura 2 - Aparelho Jar Test para simulação dos ensaios.



Fonte: Autoria própria (2020).

O ensaio foi realizado em 2 diferentes tratamentos, sendo eles:

- Tratamento com coagulante inorgânico sulfato de alumínio;
- Tratamento com coagulante inorgânico cloreto férrico.

No equipamento Jar-Test depois da adição dos tratamentos propostos, iniciou-se uma agitação rápida para que o processo de coagulação ocorresse com um tempo de 3 minutos e uma rotação de 150 rpm (Rotação por minuto), logo em seguida ocorreu o processo de floculação com agitação lenta em um tempo de 10 minutos e rotação de 15 rpm. Após isso, o aparelho foi desligado para que ocorresse o processo de sedimentação. Os tempos e rotações foram realizados seguindo adaptações de Theodoro (2012).

Foram realizadas coletas do efluente para análise dos parâmetros durante o processo de sedimentação nos tempos de 1 minutos, 11 minutos, 21 minutos e 31 minutos.

Os ensaios abordaram as três faixas de pH existentes (ácido, básico e neutro), desta forma após realizada as análises da situação da amostra bruta foi efetuada variações do mesmo em ácido, básico e neutro. Para acidificar o efluente foi acrescentado ácido clorídrico (6N), com quantidade variante de acordo com o pH inicial do efluente, até que alcançasse um pH com valor abaixo de 7. Já para fazer com que o efluente fique básico, ou seja, com pH acima de 7 foi acrescentado uma base, o hidróxido de sódio (8N) em quantidade que varia de acordo com o pH inicial

da amostra. E, para o efluente neutro foi usado o valor inicial do bruto, que estava com o pH em torno de 6,54.

Para o parâmetro de Turbidez foi calculado a porcentagem de eficiência de remoção obtidas nos testes em laboratório, utilizando a Equação 3:

$$E(\%) = \frac{E - Sn}{E} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

E = Valor do efluente bruto;

Sn = Valor de leitura obtido após adição do coagulante, onde “n” é o coagulante utilizado.

4.4 PARÂMETROS ANALISADOS

Foram analisados os parâmetros temperatura, pH, turbidez, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica. Esses parâmetros foram avaliados de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). Na Tabela 1 mostra-se a relação dos parâmetros com suas respectivas metodologias.

Tabela 1 - Parâmetros e metodologia utilizada segundo metodologia APHA (2017).

Parâmetro	Metodologia
Temperatura (°C)	2550
Turbidez (NTU)	2130 – B
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	2510 – B
pH	4500 H ⁺ - B
Sólidos totais dissolvidos (ppm)	2540

De acordo com a Resolução nº 23 de 20 de janeiro de 2010 da CONSEMMA (Conselho Municipal do Meio Ambiente), o ribeirão utilizado para lançamento do efluente tratado pela empresa específica neste trabalho se enquadra na Classe 3. Sendo assim, os valores dos parâmetros obtidos foram comparados com a Resolução CONAMA 357/05 e 430/11 para lançamento em corpo hídrico receptor Classe 3.

Os tratamentos foram confrontados entre si, chegando a uma conclusão de melhor coagulante para o tratamento de efluente têxtil.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O pH foi variado em neutro, ácido e básico, conforme citado no item 4.3. Os valores do efluente bruto com as variações de pH estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores do efluente bruto com variações de pH.

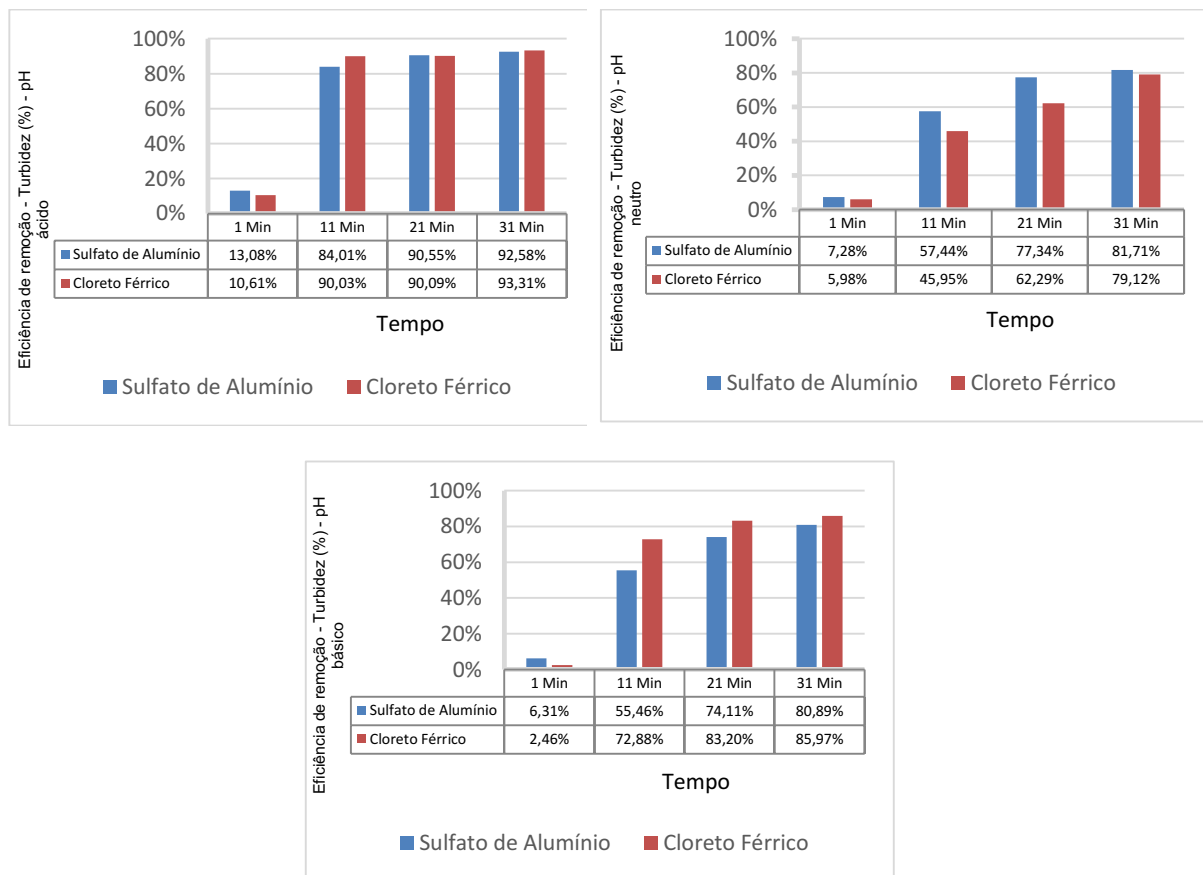
Parâmetro	pH		
	neutro	ácido	básico
pH	6,54	4,08	9,08
Turbidez (NTU)	618	688	649
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	1635	2020	2302
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	26	27	27
Sólidos totais dissolvidos (ppm)	377	346	679

5.1 TURBIDEZ

Na Tabela 3 podem-se observar os valores de turbidez encontrados em cada ensaio no decorrer do tempo de sedimentação (T). Já na Figura 3 estão expostas as eficiências de remoção de turbidez para o Sulfato de alumínio e Cloreto férrico, levando em consideração a variação do pH de cada amostra.

Tabela 3 – Valores médios de turbidez (NTU) no decorrer do tempo de coleta.

Coagulante	Tempo	Turbidez (NTU)		
		Neutro	Ácido	Básico
Bruto		618	688	649
Sulfato de Alumínio	1 min	573	598	608
	11 min	263	110	289
	21 min	140	65	168
	31 min	113	51	124
Cloreto Férrico	1 min	581	622	633
	11 min	334	68,56	176
	21 min	233	68,13	109
	31 min	129	46	91

figura 3 - Eficiência de remoção do parâmetro turbidez usando Sulfato de alumínio e Cloreto Férrico com variação de pH em ácido, neutro e básico.

Fonte: Autoria Própria (2021).

De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que tanto para o coagulante Sulfato de Alumínio quanto para o Cloreto Férrico a maior eficiência de remoção de turbidez encontra-se com o pH ácido, uma vez que todas as remoções obtidas foram superiores aos tratamentos com pH neutro e básico. Porém, pode-se dar destaque ao Cloreto Férrico que a partir dos 11 minutos de sedimentação já apresentava uma remoção aceitável (68,56 NTU ou 90,03%) em relação a Resolução CONAMA 357/05 para Classe 3 que permite até 100 NTU. Já o Sulfato de alumínio só alcançou isso a partir dos 21 minutos de sedimentação (65 NTU ou 90,55%).

De acordo com Rosalino (2011) e Corbitt (1998) as maiores eficiências da ação do coagulante Sulfato de Alumínio estão entre as faixas de pH de 5 a 8. Isso fica evidente nos estudos feitos por Souza et al. (2016), em que o Sulfato de Alumínio obteve uma redução de turbidez do efluente têxtil para 15,72 NTU com pH variando de 5 a 8. E nos estudos de Arruda et al. (2019) com pH variando de 6,10 a 7,04 e usando Sulfato de Alumínio, obteve-se remoções no efluente têxtil de até 99,9% de turbidez.

Porém, os resultados obtidos em laboratório para esse trabalho mostraram que a maior eficiência de remoção ao final do processo de sedimentação (31 minutos) para o Sulfato de Alumínio foi encontrada com o pH ácido (4,08), com remoções de 92,58% (51 NTU). Para o Cloreto Férrico a melhor remoção também foi para o pH ácido com 93,31% (46 NTU).

Esses resultados em relação ao pH ácido se assemelham aos estudos feitos por Costa Junior et al. (2013), pois as melhores eficiências identificadas por ele em tratamento de efluente têxtil foi com um pH de 3,64 utilizando Sulfato de Alumínio e 2,74 com Cloreto Férrico, obtendo remoções de até 91,3% e 96,2%, respectivamente.

Em relação a eficiência de remoção do pH ácido, pode-se dizer que essa contradição com a literatura se deve a diversas variações de composição de efluente encontradas em cada indústria, pois as concentrações de água e produtos utilizados alteram para cada processo envolvido na indústria.

Já para o pH neutro em ambos os coagulantes não obteve-se êxito no tratamento, pois em todos os tempos de sedimentação foi encontrado valores acima do exigido em legislação (até 100 NTU – CONAMA 357/05 para Classe 3), onde a maior remoção foi de 81,71% (113 NTU) para Sulfato de Alumínio e 79,12% (129 NTU) para Cloreto Férrico ao tempo final de sedimentação.

No tratamento com pH básico obteve-se êxito apenas depois de 31 minutos de sedimentação, com o Cloreto Férrico, em que a remoção ficou abaixo do limite da legislação, com 85,97% (91 NTU) de remoção. Porém não é um tratamento a se considerar, devido a baixa eficiência de remoção nos outros tempos para ambos coagulantes.

Comparando os tratamentos de pH ácido, neutro e básico, pode-se observar que a partir de 11 minutos de sedimentação todos ficaram com remoções significativamente maiores que do primeiro minuto, que não teve tanta eficiência, demonstrando assim a importância do tempo para ação do coagulante se levado este parâmetro em consideração.

Os dois coagulantes para pH ácido apresentaram êxito no objetivo final, pois alcançaram valores abaixo do previsto na Resolução CONAMA 357/05 para descarte em corpo hídrico receptor, Classe 3, em que o valor máximo exigido é de 100 NTU.

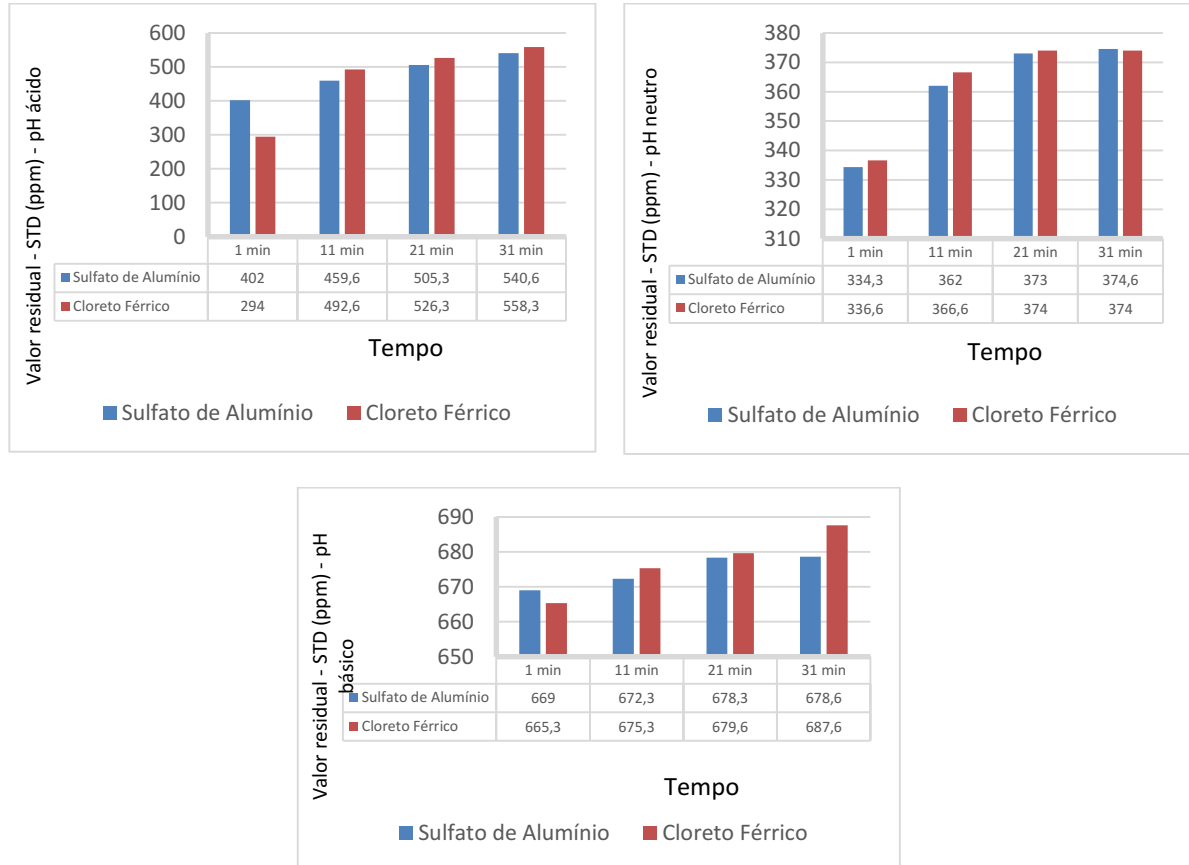
5.2 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS

Na Tabela 4 pode-se observar os valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) encontrados em cada medição no decorrer do tempo de sedimentação. Já na Figura 4 estão expostas os valores médios residuais de STD para o Sulfato de alumínio e Cloreto férrico, levando em consideração a variação do pH de cada amostra.

Tabela 4 – Valores médios de Sólidos totais dissolvidos (ppm) no decorrer do tempo de coleta.

Coagulante	Tempo	STD (ppm)		
		Neutro	Ácido	Básico
Bruto		377	346	679
Sulfato de Alumínio	1 min	334,3	402	669
	11 min	362	459,6	672,3
	21 min	373	505,3	678,3
	31 min	374,6	540,6	678,6
Cloreto Férrico	1 min	336,6	294	665,3
	11 min	366,6	492,6	675,3
	21 min	374	526,3	679,6
	31 min	374	558,3	687,6

Figura 4 – Valor médio residual de sólidos totais dissolvidos usando Sulfato de alumínio e Cloreto Férrico com variação de pH em ácido, neutro e básico.



Fonte: Autoria Própria (2021).

De acordo com os gráficos da Figura 4 é possível observar que os melhores resultados se encontram com o pH neutro, com destaque primeiramente para o Sulfato de Alumínio e depois para o Cloreto Férrico, pois ao se comparar com os outros tratamentos de pH ácido e básico, mesmo não apresentando remoções significativas, é possível observar que no tempo de 1 minuto houve diferença de remoção de 377 ppm (bruto) para 334,3 ppm para o Sulfato de alumínio. A partir do tempo de 11 minutos de sedimentação é observada diminuição em relação as remoções, porém sem demonstrarem piora em comparação com o bruto de 377 ppm, chegando no tempo de 31 minutos de sedimentação com 374,6 ppm.

Já para o Cloreto Férrico no tempo de 1 minuto houve redução para 336,6 ppm e no tempo de 31 minutos observou-se redução para 374 ppm, valores estes bem abaixo do exigido em legislação (CONAMA 357/05), onde o máximo permitido para lançamento em corpo hídrico receptor Classe 3 é de 500 ppm.

Em relação ao pH ácido vemos que no tempo de 1 minuto de sedimentação para o coagulante Cloreto Férrico é indicado uma remoção para 294 ppm em comparação com o bruto (346 ppm), no entanto nos demais tempos de sedimentação é apresentado piora significativa, pois não revelam remoções e excedem o limite estipulado na legislação CONAMA 357/05, chegando no tempo de 31 minutos com 540,6 ppm. Para o coagulante Sulfato de Alumínio não fica evidenciado remoções eficientes, visto que ele só cresce em relação ao bruto, sendo percebido no tempo de 1 minuto acréscimos, subindo de 346 ppm para 402 ppm e no tempo de 31 minutos de sedimentação elevou-se para 540,6 ppm.

Em estudos realizados por Halasz e Tosato Jr (2011) pode-se notar que ao utilizarem o Sulfato de Alumínio como coagulante para o tratamento de efluente têxtil, com pH ácido com média de 5,13 obtiveram 61,76% (682,1 ppm) de remoção, não sendo satisfatório em relação ao objetivo final que era alcançar o limite permitido por lei (500 ppm) para lançamento em corpo hídrico receptor.

O tratamento do presente estudo com pH básico foi o que apontou resultados mais inferiores, dado que a modificação do pH para básico alterou inicialmente o efluente bruto para 679 ppm. A partir disso, possuindo remoções ineficientes de acordo com o objetivo final, começando no tempo de 1 minuto de sedimentação com 669 ppm para o Sulfato de Alumínio e 665,3 ppm para o Cloreto Férrico e atingindo para o tempo de 31 minutos 678,6 ppm e 687,6 ppm, respectivamente, extrapolando

o limite para lançamento em corpo hídrico receptor classe 3, onde é indispensável haver no máximo 500 ppm.

Conforme Martins (2016), águas com elevada concentração de sólidos dissolvidos são de potabilidade baixa, podendo ocasionar graves contaminações dependendo da matéria orgânica ou poluente que esta contém.

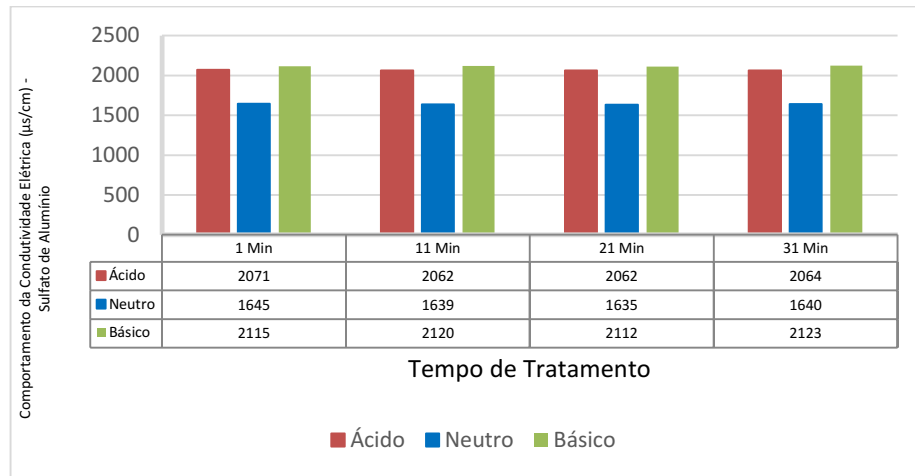
5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Na Tabela 5 pode-se observar os valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) encontrados em cada medição no decorrer do tempo de sedimentação. Já nas Figuras 5 e 6 estão expostos os comportamentos da Condutividade Elétrica para o Sulfato de alumínio e Cloreto férrico, respectivamente, levando em consideração a variação do pH de cada amostra.

Tabela 5 - Valores médios de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) no decorrer do tempo de coleta.

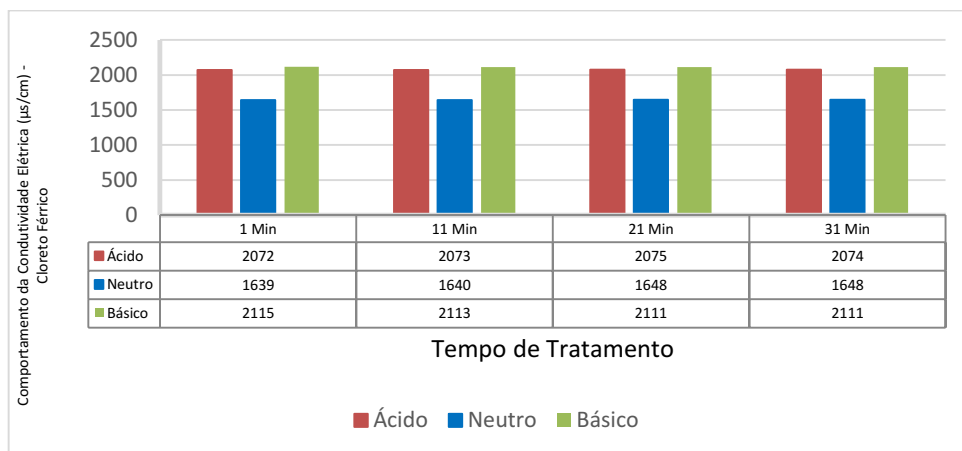
Coagulante	Tempo	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		
		Neutro	Ácido	Básico
Bruto		1635	2020	2302
Sulfato de Alumínio	1 min	1645	2071	2115
	11 min	1639	2062	2120
	21 min	1635	2062	2112
	31 min	1640	2064	2123
Cloreto Férrico	1 min	1639	2072	2115
	11 min	1640	2073	2113
	21 min	1648	2075	2111
	31 min	1648	2074	2111

Figura 5 - Comportamento da condutividade elétrica usando sulfato de alumínio durante os tempos de coleta com variação do pH.



Fonte: Aatoria Própria (2021).

Figura 6 - Comportamento da condutividade elétrica usando cloreto férrico durante os tempos de coleta com variação do pH.



Fonte: Aatoria Própria (2021).

Ao analisar os resultados é possível notar nos tratamentos de pH neutro e ácido que a condutividade aumentou, mas não de forma expressiva. Esse aumento pode estar relacionado com a presença de sais inorgânicos presentes na amostra, como o sulfato de alumínio e o cloreto férrico, que aumenta a condutividade, pois os mesmos se dissolvem em íons na água contribuindo para a condução de eletricidade, corroborando com Alves (2016).

Conforme APHA (2017), os sólidos totais dissolvidos possuem direta ligação com o parâmetro condutividade elétrica, visto que representam a concentração total

de sais dissolvidos na matriz aquosa de estudo, a exemplo dos cloretos e sulfatos. Logo, é possível observar alterações nas amostras de condutividade elétrica em concordância com o parâmetro de sólidos totais dissolvidos.

Nos tratamentos com pH neutro nota-se que o comportamento para ambos os coagulantes foram semelhantes, o que também fica evidenciado para os tratamentos de pH ácido e básico, obtendo no tempo de 1 minuto para Sulfato de alumínio e Cloreto Férrico $1645 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $1639 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente e, no tempo de 31 minutos, $1640 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $1648 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente.

Já para o pH ácido foi exposto padrões para o Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico de $2071 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $2072 \mu\text{S cm}^{-1}$, e para os tempos de 31 minutos obtivemos valores de $2064 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $2074 \mu\text{S cm}^{-1}$, respectivamente. No tratamento de pH básico observou-se no tempo de 1 minuto de sedimentação, para o Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico números de $2115 \mu\text{S cm}^{-1}$ para ambos coagulantes e $2123 \mu\text{S cm}^{-1}$ e $2111 \mu\text{S cm}^{-1}$ para o tempo de 31 minutos, respectivamente. Números estes bastante próximos, não havendo grandes diferenças no uso de um coagulante para o outro.

Na amostra com pH básico houve uma diminuição da condutividade elétrica devido ao pH básico. Na legislação CONAMA 357/05 e 430/11 não há valor estabelecido para esse parâmetro, mas segundo Von Sperling (2007) águas naturais exibem teores de condutividade na faixa de 10 a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$.

5.4 TEMPERATURA

Na Tabela 7 pode-se observar os valores de temperatura encontrados em cada medição no decorrer do tempo de sedimentação levando em consideração a variação de pH. O parâmetro temperatura será apresentado apenas na Tabela 7, pois as alterações foram mínimas.

Tabela 6 - Valores médios de Temperatura (°C) no decorrer do tempo de coleta.

Coagulante	Tempo	Temperatura (°C)		
		Neutro	Ácido	Básico
Bruto		26	27	27
Sulfato de Alumínio	1 min	26	27	27
	11 min	26	27	27
	21 min	26	27	27
	31 min	26,6	27	27
Cloreto Férrico	1 min	26	27	27
	11 min	26	27	26,6
	21 min	26	27	26,6
	31 min	26,6	27	27

O parâmetro temperatura não apresenta alterações significativas, se mantendo praticamente constantes durante as medições das amostras. Houve pequena alteração no pH neutro para o ácido e básico, mas pode-se relacionar essa alteração ao dia e temperatura ambiente no momento da coleta, uma vez que o ensaio não foi realizado em ambiente controlado.

6 CONCLUSÃO

O tratamento que obteve melhores resultados em relação a remoção do parâmetro turbidez foi o de pH ácido, efetuado com o coagulante cloreto férrico que obteve eficiência de remoção de 93,31%. Contudo, ambos os tratamentos apresentaram resultados satisfatórios, estando de acordo com o estabelecido em legislação.

Para o parâmetro de sólidos totais dissolvidos o tratamento que apresentou resultados dentro do estabelecido pela legislação CONAMA 357/05 para classe 3 foi o de pH neutro, tanto para o tratamento com o sulfato de alumínio como para o cloreto férrico, com valores finais obtidos de 374,6 ppm e 374 ppm, respectivamente. Os tratamentos de pH ácido e básico apresentaram resultados todos acima do permitido em legislação.

Quanto a condutividade elétrica não há especificações na legislação CONAMA 357/05 e 430/11, contudo os resultados obtidos foram elevados em comparação ao que comumente é encontrado em águas naturais. Já para a Temperatura em relação a variação do pH para o efluente têxtil não houveram alterações.

Contudo, cada parâmetro analisado, para o tratamento de efluente têxtil, obteve êxito com características diferentes, no qual o pH neutro se destacou para sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica para ambos os coagulantes. Já para a turbidez foi obtido sucesso com pH ácido, também para ambos os coagulantes, com diferenças mínimas entre eles.

Em vista disso conclui-se que o coagulante que foi observado melhores resultados foi o Sulfato de Alumínio com pH neutro, e o Cloreto Férrico com pH ácido, sugerindo que novos trabalhos com variação de outros parâmetros sejam considerados para que possa se chegar a um apontamento mais específico de indicação de melhor tratamento a ser utilizado.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. S. **Desenvolvimento de Medidor de Condutividade Elétrica da Água para fins de Monitoramento Ambiental**. 2016. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ufrgs), Porto Alegre, 2016.

AMDA. **Indústria têxtil consome 93 bilhões de metros cúbicos de água por ano**. 2018. Disponível em: <<https://www.amda.org.br/index.php/comunicacao/informacoes-ambientais/5240-industria-textil-consome-93-bilhoes-de-metros-cubicos-de-agua-por-ano>>. Acesso em: 12 Abril 2020.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22^a ed., Washington, D.C.: APHA, 2017. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF).

ARRUDA, V. C. M. de et al. Tratamento físico-químicos de efluente têxtil utilizando sulfato de alumínio, carvão ativado e Moringa Oleífera (Moringa moringa (L.)). **Geama**, Pernambuco, v. 3, n. 5, p. 47-55, 28 dez. 2019. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/2882>. Acesso em: 23 mar. 2021.

BARBOSA, M. G. N. et al. Avaliação da eficiência de coagulantes inorgânicos em estações de tratamento de água subdimensionadas. **Conapesc**, Paraíba, p. 1-12, jun. 2019. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV126_MD1_SA6_ID2617_30072019101220.pdf> Acesso em: 05 Abril 2020.

BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de Efluente Têxtil e proposta de Tratamento**. 2000. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

BORBA, L. R. **Viabilidade do uso da moringa oleífera lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades**. 2001. 76f. Dissertação (PósGraduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Ciências exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa. 2001.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 mai. 2011. Acesso em: 23 de Abril de 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Acesso em: 23 de Abril de 2020.

CAIXA. **Guia de diretrizes socioambientais indústria têxtil**. Brasil: Gerência Nacional Sustentabilidade e Responsabilidade Socioambiental, 2018. 15 slides, color. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/Guias-Socioambientais-Caixa/GUIA_Textil.pdf. Acesso em: 10 Abril 2020.

CARREIRA, M. F. **Sistemas de tratamento de efluentes têxteis – Análise comparativa entre as tecnologias usadas no Brasil e na Península Ibérica**. 2006. 2v. 674f. Tese de doutorado em Engenharia de Produção – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável**. 2008. 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CORBITT, R. A. **Standard handbook of environmental engineering**. 2 ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1998.

COSTA JUNIOR, S. S. et al. **Tratamento de efluente têxtil utilizando coagulação/floculação**. In: **congresso brasileiro de química**, 53, 2013, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2013/trabalhos/5/3386-17002.html>. Acesso em: 23 de Abril de 2020.

DAVIS, M. L. **Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

FCEM. **Qual a importância da indústria têxtil no Brasil e o que representa?** Febratex Group, 2019. Disponível em: <https://fcem.com.br/noticias/qual-a-importancia-da-industria-textil-no-brasil-e-o-que-representa/>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FOGAÇA, J. R. V. "**Tipos de tratamento de efluentes**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-tratamento-efluentes.htm>> Acesso em 08 de abril de 2020.

FOGAÇA, J. R. V. "**Coagulação e Floculação**"; *Brasil Escola*. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/coagulacao-floculacao.htm>> Acesso em 23 de abril de 2020.

FORTINO, P. **Pós-tratamento de efluente têxtil usando coagulação/floculação combinado com processos de separação por membranas**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FREIRE, F. B.; FREITAS, S. L. de. Avaliação da remoção de cor de um efluente têxtil sintético. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 241-249, jul. 2010.

GIORDANO, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. 2004. 81 p. Apostila (Efluentes Industriais). Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente – UERJ. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/49026099/Tratamento-e-Controlde-de-Eluentes-Industriais> Acesso em: 30 Março 2020.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, Maria Valnice B.. Corantes têxteis. **Química Nova**, Araraquara, v. 23, n. 1, p. 71-78, 31 mar. 1999.

HALASZ, M. R. T.; TOSATO JUNIOR, J. C.. Tratamento de Efluentes Têxteis Utilizando Processos Físico-Químicos e Oxidativos Avançados. **Cleaner Production**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-10, 18 maio 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5B/1/Tosato_Jr_JC%20-%20Paper%20-%205B1.pdf> Acesso em: 12 Abril 2020.

HELLER, L.; PÁDUA, V.L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2º ed. Belo Horizonte. Editora: UFMG, 2010.

IEL (Brasília). **Análise da eficiência econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira**. Brasília: Iel, Cna, 2000. 480 p.

KUNZ, A. et al. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, p. 39-46, 2016.

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

LONDRINA. Conselho Municipal do Meio Ambiente. Resolução nº 23, de 20 de janeiro de 2010. **Regulamenta Padrões Mínimos Para Estações de Tratamento de Esgoto em Londrina**. Acesso em: 11 maio 2021.

MAGNAN, R. B. **Análise da viabilidade técnica e financeira da substituição do coagulante cloreto férrico por policloreto de alumínio durante o processo físico-químico no tratamento de efluente de abatedouro avícola**. 2010. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

MARTINS, I. A. **Aplicação de tratamento eletrolítico na remoção de cor de efluente têxtil**. 2016. 71 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Bacharelado, Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/35672>. Acesso em: 25 mar. 2021.

MARQUES, M. de P. et al. Avaliação da eficiência do tratamento do efluente de uma estamperia por coagulação química. **Reec – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiás, v., n. p. 1-16, abr. 2017. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/AGUARDAR_12_DEZ_2018_AVALIAÇÃO_DA_EFICIÊNCIA_DO_TRATAMENTO_DO_EFLUENTE_DE_UMA_ESTAMPARIA_POR_COAGULAÇÃO_QUÍMICA.pdf> Acesso em: 10 Abril 2020.

MONTEIRO, P. A. **Diagnóstico do consumo de água nos processos de beneficiamento de jeans no polo confeccionista de divinópolis/mg**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, 2018.

MOREIRA, I. **Estudo e comparação da eficiência da ação coagulante do polímero natural tanino e do cloreto férrico no tratamento de efluente têxtil**. 2016. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016.

MULTJR. **Tudo o que Você Precisa Saber Sobre a Indústria Têxtil**. 2019. Disponível em: <http://blog.multjr.com.br/tudo-sobre-industria-textil/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=http%3A%2F%2Fblog.multjr.com.br%2Ftudo-sobre-industria-textil%2F&utm_term=industria-textil&utm_content=blog-post&gclid=CjwKCAjw7LX0BRBiEiwA__gNw_cAgFKQtpT5L27XrLSGxxx5fR5AU-6xYrx0QRcfDI-xgrpiEwhwjBoCYZ8QAvD_BwE> Acesso em: 12 abr. 2020.

NIETO, R. **A atividade têxtil e a poluição dos rios**. Textília, São Paulo: Editora Brasil Ltda, (10), 51-55, 1993.

PAULA, J. C. de. **Remoção de cor de efluente têxtil sintético através da aplicação dos processos físico-químicos de coagulação/floculação, carvão ativado e ozônio**. 2016. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji, 2016.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. São Paulo, 2001. Dissertação de mestrado-Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2001.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1a ed. São Paulo. Editora: Edgard Blucher Ltda, 1991.

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

RODRIGUES, P. H. **Avaliação do processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante policloreto de alumínio no tratamento de um efluente têxtil**. 2014. 45 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

SCHULTZ, G.; ZAGONEL, L. M. Produção mais limpa na indústria têxtil: alternativas para minimização da utilização de água no processo de tingimento e acabamento. **Revista Destaques Acadêmicos**, [S.l.] v. 1, n. 1, mar. 2009. ISSN 2176-3070. Disponível em: <http://univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/12> Acesso em: 15 Abril 2020.

SILVA, L. D. et al. Eficiência da coagulação, floculação e decantação como tratamento primário de efluente têxtil. **Revista Geama**, [S.l.], p. 36-40, abr. 2019. ISSN 2447-0740. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/2477/482483028>. Acesso em: 23 de maio de 2020.

SOUZA, P. C. de *et al.* ESTUDO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE TÊXTIL ATRAVES DE PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO E ELETROCOAGULAÇÃO. **E-xacta**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 123-132, 30 nov. 2016. Revista Exacta. <http://dx.doi.org/10.18674/exacta.v9i2.1953>.

THEODORO, J. D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

TWARDOKUS, R. G. **Reuso de Água no Processo de Tingimento da Indústria Têxtil**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

VON SPERLING, M. **Estudos de modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Vol. 7. 452 p.