

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

GIOVANA PIRES DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E
INORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE
GALVANOPLASTIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2019

GIOVANA PIRES DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E
INORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE
GALVANOPLASTIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira

LONDRINA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DO USO DE COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE GALVANOPLASTIA

por

GIOVANA PIRES DE ALMEIDA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 02 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro
(UTFPR)

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha mãe Noeli, por ter apostado em mim, investido na minha educação e ter sido paciente com a minha caminhada rumo a formação, ao meu pai Gilmar por sempre ter me dito que ia dar tudo certo nessa “escola” e pela admiração que tem pelo meu esforço, ao meu irmão Guilherme que sempre me ouviu surtar, quando as coisas não davam certo (e quando davam certo também), obrigada pela força, pelas vezes que me distraiu e diminuiu minha ansiedade, você iniciará em breve essa caminhada e aposto que sairá ileso, você é excepcional, Xu, estamos juntos nessa.

Agradeço a minha amiga Angelina, que me ensinou sobre coragem, me incentivou e me ensinou muito, sobretudo, sua passagem pela minha vida (ou o contrário) me marcou pra sempre, te admiro muito, vamos beber uma cervejinha?

Melissa, a nossa amizade é umas das coisas que mais me orgulho ter feito nessa universidade, muito obrigada por me ouvir sempre e estar comigo nos melhores e piores momentos, o importante da caminhada, não é o tempo percorrido e sim aonde queremos chegar e a chegada é o que permanecerá pra sempre, você é muito inteligente, nunca duvide do seu potencial.

A todos que contribuíram comigo nesses anos de UTFPR, torço muito por vocês e espero reencontrá-los. Algumas pessoas marcam a nossa vida, deixam mensagens que nunca se apagam das nossas mentes, que se tornam aprendizados que levamos para sempre conosco, gratidão.

“Gostaria de dizer para você
que viva como quem sabe que vai morrer um dia,
e que morra como quem soube viver direito.”

— Chico Xavier

RESUMO

ALMEIDA, G. P. **Avaliação do uso de coagulantes orgânicos e inorgânicos no tratamento de efluente de galvanoplastia**. 2019. 73 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

Dentre os setores produtivos, as indústrias são comumente as grandes responsáveis pela enorme geração de rejeitos, dentre elas a indústria de galvanoplastia através de seus processos geradores de poluentes perigosos, que se descartados sem o tratamento correto, pode gerar inúmeros danos ao meio ambiente. Compreendendo o potencial poluidor do efluente de galvanização o presente trabalho comparou o uso de coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e inorgânicos como o sulfato de alumínio e o BONDERITE S-WT 8723 na remoção de cor aparente e turbidez, acompanhou os parâmetros: pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos. A pesquisa foi realizada em 3 ensaios simulando-se o processo de coagulação/floculação/sedimentação/filtração com coletas das amostras no tempo de 10 em 10 minutos até perfazer 33 minutos de ensaio. Ao final dos processos todos os coagulantes obtiveram porcentagens superiores a 80% de remoção de cor aparente e turbidez, sendo as maiores reduções de cor aparente e turbidez obtidas com o coagulante BONDERITE S-WT 8723. A remoção de sólidos totais dissolvidos apresentou os melhores resultados para os coagulantes *Moringa oleifera* e BONDERITE S-WT 8723 onde, após a filtração, ambos obtiveram 99% de remoção para o ensaio 3. A condutividade elétrica foi diminuída em aproximadamente 95% e o pH alcançou o valor entre 6 e 9, ambos resultados alcançados após a passagem pelo filtro de areia para todos os coagulantes. Recomenda-se o uso do coagulante orgânico *Moringa oleifera* associado a filtração para o tratamento do efluente de galvanização, pois além de ser um coagulante orgânico que gera um lodo biodegradável, tem excelentes resultados quando comparado aos coagulantes inorgânicos.

PALAVRAS-CHAVE: Galvanoplastia; *Moringa oleifera*; Sulfato de alumínio; BONDERITE S-WT 8723.

ABSTRACT

ALMEIDA, G. P. **Evaluation of the use of organic and inorganic coagulants in the treatment of electroplating effluent.** 2019. 73 p. Graduation in Environmental Engineering, Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2019.

Among the productive sectors, such as industries are common as large waste generators, among them the electroplating industry, through its hazardous pollutant generating processes, which can be disposed of without proper treatment, can generate numerous environmental damage. Understanding the potential pollutant effect of galvanizing or working present compared to the use of *Moringa oleifera* and inorganic organic coagulants such as aluminum sulfate and BONDERITE S-WT 8723 in the removal of apparent color and turbidity, following the values: pH, conductivity electrical, total dissolved. A survey was conducted in 3 trials simulating the coagulation / flocculation / sedimentation / filtration process with timeless color collections every 10 minutes to a total of 33 minutes. At the end of all processes, coagulants achieve percentages greater than 80% apparent color removal and turbidity, with the largest apparent color and turbidity reductions attached with BONDERITE S-WT 8723 coagulants. For *Moringa oleifera* and BONDERITE S-WT 8723 where, after filtration, it obtains 99% removal for test 3. The electrical conductivity was reduced by approximately 95% and the pH reached between 6 and 9, both achieved after a sand filter pass for all coagulants. The use of organic coagulant *Moringa oleifera* associated with filtration is recommended for treatment of galvanizing effluent, besides being an organic coagulant that generates a biodegradable sludge, has recent results when compared to inorganic coagulants.

Keywords: Electroplating; *Moringa Oleifera*; Aluminum sulfate; BONDERITE S-WT 8723.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de eletrólise em galvanoplastia.....	19
Figura 2 – Fluxograma do processo galvânico e seus insumos.....	22
Figura 3 – Etapas de galvanização eletrolítica e seus outputs.....	25
Figura 4 – BONDERITE S-WT 8723.....	34
Figura 5 – Árvore, flor e semente da Moringa oleifera.....	36
Figura 6 – Jar-Test utilizado nos ensaios.....	40
Figura 7 - Dimensões e ordem dos materiais utilizados na fabricação dos filtros.....	42
Figura 8 – Filtros montados e posicionados.....	42
Figura 9 – Resultado da eficiência de remoção de cor aparente do ensaio 1.....	48
Figura 10 – Resultado da eficiência de remoção de cor aparente do ensaio 2.....	49
Figura 11 – Resultado da eficiência de remoção de cor aparente do ensaio 3.....	49
Figura 12 – Resultado da eficiência de remoção de turbidez do ensaio 1.....	52
Figura 13 – Resultado da eficiência de remoção de turbidez do ensaio 2.....	53
Figura 14 – Resultado da eficiência de remoção de turbidez do ensaio 3.....	53
Figura 15 – Resultado da Sólidos totais dissolvidos (mgL-1) do ensaio 1.....	63
Figura 16 – Resultado da Sólidos totais dissolvidos (mgL-1) do ensaio 3.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros analisados, equipamentos, metodologia e ensaios	44
Tabela 2 – Caracterização do efluente bruto (Ensaio 1)	46
Tabela 3 – Caracterização do efluente bruto (Ensaio 2)	46
Tabela 4 – Caracterização do efluente bruto (Ensaio 3)	46
Tabela 5 – Resultados da Análise de Variância para a cor aparente do efluente do ensaio 1.....	50
Tabela 6 – Resultados da Análise de Variância para a cor aparente do efluente do ensaio 2.....	51
Tabela 7 – Resultados da Análise de Variância para a cor aparente do efluente do ensaio 3.....	51
Tabela 8 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro cor aparente.....	51
Tabela 9 – Resultados da Análise de Variância para a turbidez do efluente do ensaio 1.....	55
Tabela 10 – Resultados da Análise de Variância para a turbidez do efluente do ensaio 2.....	55
Tabela 11 – Resultados da Análise de Variância para a turbidez do efluente do ensaio 1.....	55
Tabela 12 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro turbidez.....	56
Tabela 13 – Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ensaio 1.....	58
Tabela 14 – Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ensaio 2.....	58
Tabela 15 – Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ensaio 3.....	58
Tabela 16 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro pH.....	59
Tabela 17 – Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica do efluente do ensaio 1.....	61
Tabela 18 – Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica do efluente do ensaio 2.....	61

Tabela 19 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro condutividade elétrica.....	62
Tabela 20 – Resultados da Análise de Variância para os sólidos totais dissolvidos para o efluente do ensaio 1.....	65
Tabela 21 – Resultados da Análise de Variância para os sólidos totais dissolvidos para o efluente do ensaio 3.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Padrões de lançamento de efluentes no Brasil.....	29
Quadro 2 – Concentrações testadas e escolhida para o ensaio 1.....	39
Quadro 3 – Concentrações testadas e escolhida para o ensaio 2.....	39
Quadro 4 – Concentrações testadas e escolhida para o ensaio 3.....	40
Quadro 5 – Resultados para o parâmetro cor aparente.....	48
Quadro 6 – Resultados para o parâmetro turbidez.....	52
Quadro 7 – Resultados para o parâmetro pH.....	57
Quadro 8 – Resultados para o parâmetro condutividade elétrica.....	60
Quadro 9 – Resultados para o parâmetro sólidos totais dissolvidos.....	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Galvanização	17
3.2 Galvanização a frio	18
3.2.1 Etapas do processo galvânico.....	20
3.3 Eletrodeposição	22
3.4 Efluentes gerados	23
3.4.1 Legislação ambiental.....	27
3.5 Processos de tratamento	29
3.5.1 Coagulação/floculação.....	29
3.5.2 Sedimentação.....	30
3.5.3 Filtração.....	31
3.6 Coagulantes	32
3.6.1 Coagulantes inorgânicos.....	32
3.6.1.1 Sulfato de Alumínio.....	32
3.6.1.2 BONDERITE S-WT 8723.....	33
3.6.2 Coagulante orgânico.....	34
3.6.2.1 <i>Moringa oleifera</i>	35
4 MATERIAIS E MÉTODOS	38
4.1 Local de coleta e realização dos ensaios	38
4.3 Preparo das soluções	38
4.3.1 Solução padrão de Sulfato de Alumínio.....	38
4.3.2 Solução padrão de BONDERITE S-WT 8723.....	38
4.3.3 Solução padrão de <i>Moringa oleifera</i>	38
4.4 Ensaios Laboratoriais	39
4.4.1 Pré-ensaio.....	39
4.4.2 Coagulação/Floculação/Sedimentação.....	40
4.4.3 Filtração.....	41
4.4.3.1 Construção dos filtros de areia.....	41

4.5 Parâmetros analisados.....	44
4.6 Análise estatística.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
5.1 Caracterização do efluente bruto.....	46
5.2 Caracterização do efluente pós tratamento.....	47
5.2.1 Cor aparente.....	47
5.2.2 Turbidez.....	52
5.2.3 pH.....	57
5.2.4 Condutividade elétrica.....	60
5.2.5 Sólidos totais dissolvidos.....	63
6 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Dentre os setores produtivos, as indústrias são, comumente, as grandes responsáveis pela enorme geração de rejeitos, sejam eles sólidos, líquidos ou gasosos, em sua grande maioria nociva ao meio ambiente. Entre os vários ramos industriais destaca-se a indústria de galvanoplastia, com processos que podem gerar diversos impactos ao meio ambiente.

Processos de indústrias galvânicas consistem em processos químicos e eletroquímicos, onde é preparada uma solução de um sal de metal, que é utilizado no banho das peças. Após o processo de eletrodeposição, elas são lavadas, e esta água da lavagem se torna um efluente no qual, contém metais pesados (VAZ et al., 2010).

A água é uma das principais matérias-primas para a indústria galvanoplasta, pois é base para todo o processo.

Por conta das intervenções humanas, os recursos hídricos vêm sendo degradados e sua qualidade afetada, de modo que a tendência do cenário é tão preocupante que os estudiosos mais céticos não hesitam em afirmar que a escassez de água deverá se constituir num futuro próximo (NUNES, 2004).

A indústria da galvanoplastia se apresenta como uma fonte geradora de efluentes contendo metais pesados (cromo, cobre, zinco, níquel, cádmio e chumbo), uma vez que emprega em seus processos de eletrodeposição uma variedade de soluções metálicas e um volume considerável de águas de lavagem que, dependendo do porte da indústria, situa-se entre 250 a 2.000 Lh⁻¹, havendo instalações em que esta quantidade ultrapassa os 10.000 Lh⁻¹ (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

Além do efluente conter metais pesados, ele contém grande quantidade de materiais dissolvidos que ocasionam altos valores de cor e também grande quantidade de materiais suspensos, que ocasionam um alto valor de turbidez.

Em relação à vazão dos efluentes, estes variam consideravelmente, dependendo do tamanho das seções de galvanização, havendo relatos desde 8 até 1500 m³dia⁻¹ (VEIT, 2006).

Por isso o efluente gerado deve ser tratado antes de seu descarte, de modo a atender aos parâmetros estabelecidos pela legislação, pois se descartado incorretamente, impactará negativamente o meio ambiente.

Diante disto este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de diferentes tipos de coagulantes (*Moringa oleifera*, Sulfato de Alumínio e BONDERITE S-WT 8723) a fim de que a indústria de galvanoplastia possua opções de uso no momento do tratamento do efluente de galvanização a frio.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal desta pesquisa foi avaliar a eficiência de diferentes coagulantes orgânicos e inorgânicos no tratamento físico-químico de efluente líquido de galvanoplastia a frio através dos processos de coagulação/floculação/sedimentação e filtração.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência (remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e sólidos totais dissolvidos) do coagulante orgânico *Moringa oleifera* e dos coagulantes inorgânicos Sulfatos de Alumínio e BONDERITE S-WT 8723 utilizados no tratamento físico/químico do efluente de galvanoplastia;
- Avaliar o comportamento dos parâmetros pH e condutividade elétrica;
- Estudar a possibilidade de substituição ou auxiliar do coagulante orgânico frente ao inorgânico;
- Associar os resultados obtidos à legislação pertinente.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Galvanização

Independentemente do processo utilizado para o revestimento (a frio ou a fogo), é chamado de galvanização o recobrimento de superfícies com um metal. As peças são colocadas em banhos químicos (a fogo) ou eletrolíticos, seguido de enxágues com água. Para cada tipo de acabamento há uma sequência de tratamento, onde são produzidos efluentes líquidos com diferentes características.

De acordo com o Manual de Segurança e Saúde elaborado pelo SESI (2007) os ramos de atividades que utilizam a galvanização são diversos, tais como: indústria automotiva, indústria de bijuterias, construção civil, indústria de utensílios domésticos, indústria de informática, indústria de telefonia, recuperação de objetos decorativos. A galvanização tem como principal objetivo, a proteção contra a corrosão, quando o ferro oxida-se é formada a ferrugem, a qual pode resultar na inutilização do material, essa proteção impede a interação da peça com o ar e umidade, aumentando a sua durabilidade, além disso dependendo do objetivo com para o uso da peça a vantagem pode ser o embelezamento, características que vão aumentar sua condutividade elétrica ou térmica, ampliação da espessura da peça, dentre outras vantagens.

A maioria das peças utilizadas na indústria e nos transportes é de ferro e aço, suscetíveis à oxidação; sendo que o aço tem em sua composição perto de 98,5% de ferro, 0,5% a 1,7% de carbono e traços de silício, enxofre e oxigênio (ICZ, 2011).

O processo corrosivo prejudica a resistência mecânica, a condutibilidade elétrica e outras características como a transmissibilidade térmica, coeficientes de dilatação e de contração e altera a aparência dos materiais. Pode, inclusive, representar perda significativa de material para o meio, danificando instalações industriais, construções e seus componentes (IGNATOWITZ; FASTERT, 2015).

Piveli (1999) classifica as indústrias de galvanoplastia em três segmentos: grandes indústrias cativas, pequenas indústrias cativas e indústrias de serviços. As grandes indústrias cativas são, normalmente, divisões de empresas maiores cujos produtos requerem artigos revestidos, como por exemplo, indústrias

automobilísticas, indústrias aeronáuticas, produtoras de eletrodomésticos, destacando-se por suas dimensões, produção e consumo de produtos químicos. As pequenas indústrias cativas são dimensões menores das grandes indústrias e servem para suprir o fornecimento de determinadas peças necessárias ao produto principal, sendo exemplo deste tipo de indústria as fábricas de máquinas operatrizes. As indústrias de serviços, conforme o próprio nome diz, são prestadores de serviços à base de contratos, e são preparadas para servir uma grande variedade de indústrias incluindo as pequenas indústrias cativas quando estas, perceberem ser impraticável manter as suas próprias unidades.

As indústrias que se dedicam ao tratamento de superfícies são de grande importância no contexto econômico, tanto pela diversidade de aplicação de seus produtos como pelos aspectos sociais a elas estritamente ligados (PIVELI, 1999).

Desta forma, a proteção de superfícies, termo que compreende desde pinturas protetivas até os processos de galvanização por eletrodeposição, é fundamental para uma série de produtos, máquinas, equipamentos e instalações industriais (GAUTO; ROSA, 2013).

Há vários tipos de revestimento para superfícies: eletrodeposição, imersão a quente, aspersão térmica, difusão, deposição química, deposição por deslocamento galvânico, deposição por evaporação a vácuo, deposição mecânica, deposição por explosão e colaminação, porém, visando uma maior proteção contra corrosão atmosférica, os mais utilizados são aplicados por eletrodeposição, imersão a quente e deposição por aspersão térmica.

3.2 Galvanização a frio

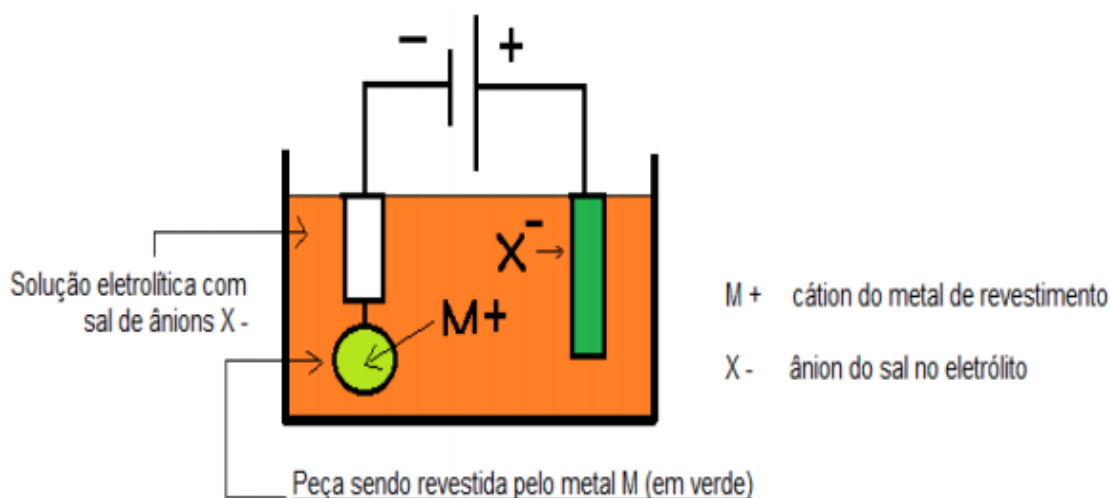
O processo de eletrodeposição é utilizado com finalidade de se obter revestimentos de pequena espessura e relativamente livre de poros. Economicamente é viável pois obtém-se a finalidade pretendida com uma fina camada de metal de revestimento. A eletrodeposição é geralmente utilizada para revestir peças utilizando ouro, prata, estanho, cobre, cádmio, níquel, cromo e zinco, (GENTIL, 2003).

Neste método coloca-se a peça na condição de cátodo (polo negativo) em um circuito de eletrólise, a aplicação de energia elétrica externa que será

transformada em energia química, dinamiza os fluxos de cátions e ânions no sistema. A corrente elétrica é aplicada em meio líquido de material fundido ou solução aquosa com sal metálico do material de revestimento, onde se encontram as placas com a peça a proteger e o metal de sacrifício (BROWN; HOLME, 2014).

A Figura 1, mostra um modelo esquemático do processo básico, de galvanoplastia.

Figura 1 – Esquema de eletrólise em galvanoplastia.



Fonte: Site Alfaconnection (2016)

A peça imersa, à direita, é denominada de metal de sacrifício ou de revestimento e a peça arredondada, à esquerda, deve ser recoberta. Devido à polarização do banho, ocorre migração de cátions do metal de revestimento (M+) para a peça a revestir e dos ânions do sal da solução eletrolítica (X-) para o metal de revestimento (de sacrifício). Ao longo do processo de eletrodeposição, o metal de sacrifício é consumido, devendo ser repostado periodicamente para manter a galvanização (HOINKIS, 2015).

Para executar o processo de galvanoplastia por eletrodeposição a instalação requer alguns componentes: um retificador responsável pela fonte de energia contínua; barramentos para condução de energia; tanque para depósito da solução; solução, os ânodos que são ligados no barramento interno do tanque no polo positivo, e sistema de elevação para movimentação das peças (BUZZONI, 1991).

3.2.1 Etapas do processo galvânico

A galvanoplastia possui uma série de etapas preparatórias que devem anteceder o processo de eletrodeposição propriamente dito, conhecido como pré-tratamento (mecânico e químico) e a etapa final de eletrodeposição. As etapas de pré-tratamento, se observadas corretamente, irão garantir a efetividade da deposição dos metais protetores sobre as peças a galvanizar e a qualidade final da peça (BUZZONI, 1991).

Entre os vários tipos de processos de tratamento de superfícies disponíveis (zincagem, cobreagem, estanhagem, niquelação, cromagem, etc), cada um segue, após a limpeza mecânica e química da peça ou metal base, uma seqüência de banhos eletrolíticos específicos. Dependendo do tipo de acabamento metálico, efluentes líquidos com características diversas são gerados, em decorrência principalmente das águas de lavagem (VEIT, 2006).

A boa aderência do metal a ser depositado na superfície a ser revestida, depende de suas condições, portanto há três etapas que precedem a galvanização (pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento) a fim de adequar a peça.

O pré-tratamento consiste em duas etapas: mecânica e química, compreendendo a preparação mecânica, o desengraxe e a decapagem. Na fase mecânica as peças a serem galvanizadas podem ser submetidas a operações de esmerilhamento, tamboreamento, riscamento e polimento. Nestas operações são eliminados pelo atrito rebarbas de usinagem, pontos de ferrugem e incrustações nos metais e dependendo do tipo e formato das peças a galvanizar um ou outro equipamento será utilizado. O esmeril é utilizado para peças de tamanho médio, o tambor giratório com esferas para peças pequenas, as escovas metálicas e jateamento com granalha em peças grandes e no polimento usa-se pastas com óxidos de alumínio, de cromo III, de magnésio, de cálcio e de ferro (SILVA, 1999).

A etapa química do pré-tratamento galvânico inicia-se com o desengraxamento (químico ou eletrolítico) onde são eliminados todas as gorduras, óleos e graxas que possam estar na superfície metálica. A permanência de óleos e graxas poderá interferir na aderência da capa de proteção no metal de base e gerar manchas na superfície tratada (TELLES; COSTA, 2010).

O desengraxamento químico utiliza solventes orgânicos como a gasolina, tri e tetracloroetileno, percloroetileno, emulsões de solventes bifásicos como organoclorados e soluções alcalinas de hidróxido de sódio (soda cáustica), carbonato de sódio e fosfato trisódico (SILVA,1999).

A solução desengraxante deverá estar em ebulição, para melhorar a eficiência do processo. Os objetos deverão permanecer durante 20 a 25 minutos no banho, retirados e lavados em água corrente, estando prontos para serem submetidos ao próximo banho (BUZZONI, 1991).

A última etapa do pré-tratamento químico é a decapagem que pode ser alcalina ou ácida. A decapagem alcalina retira dos produtos a galvanizar resíduos do esmeril, pastas abrasivas e de polimento (TELLES; COSTA, 2010).

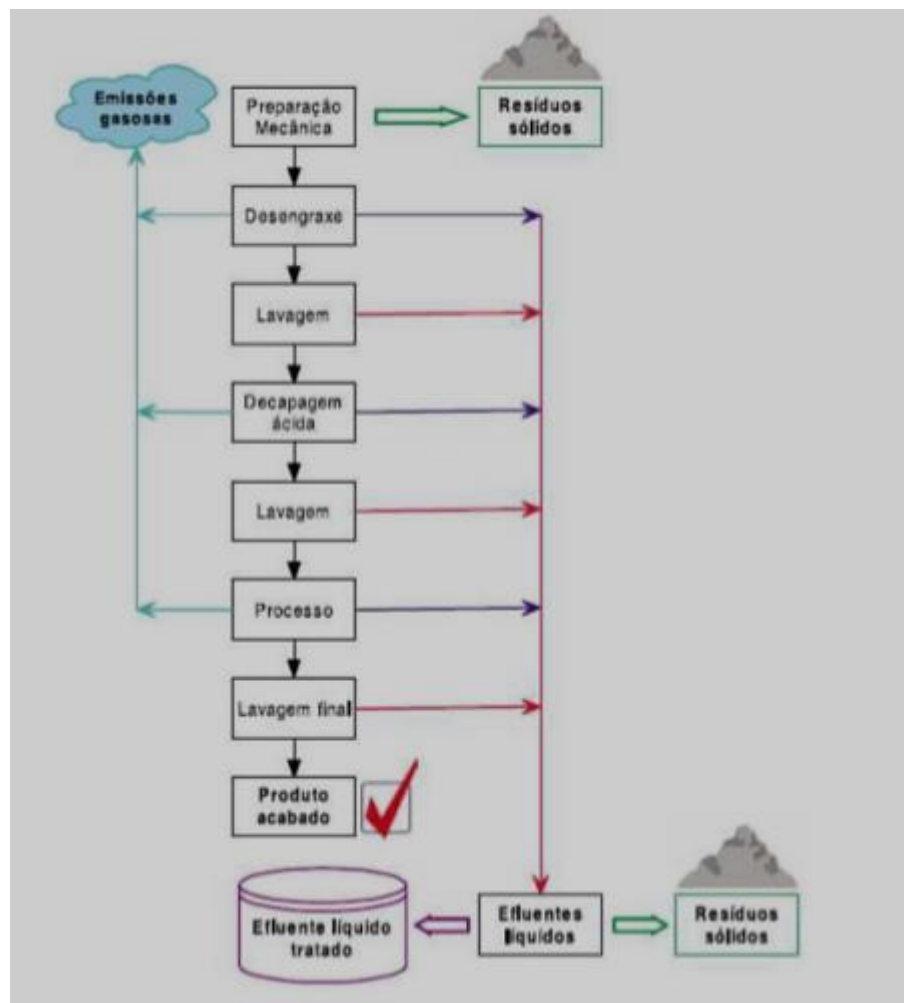
Para isso, utiliza soluções alcalinas de hidróxidos, fosfatos, carbonatos e gluconato de sódio que possui muitos íons metálicos de ferro e cobre para desoxidação de metais. A decapagem ácida, por sua vez, é aplicada para remoção de cascas de fundição das peças (carepas) formadas durante os tratamentos térmicos e de laminação e dos óxidos em pontos de solda. Na decapagem ácida utilizam-se ácidos minerais como o clorídrico, sulfúrico, nítrico, fluorídrico e fosfórico que são cancerígenos (SILVA, 1999).

A utilização de ácidos, soluções alcalinas e sais de metais pesados é muito comum em galvanoplastia. A água atua como agente de limpeza das peças metálicas em processo, evitando a mistura de diferentes soluções químicas pelo efeito de arraste (BARROS, 2016).

A decapagem ácida utilizando ácido clorídrico é realizada em temperatura ambiente, com solução aquosa com 15 a 17% de HCl, na presença de inibidores para que o ácido não ataque o metal base e de outros aditivos que reduzem a tensão superficial da solução decapante, enquanto que a decapagem que utiliza ácido sulfúrico ocorre à temperatura de 70 a 90 °C em solução aquosa de 7,5 a 15% de H₂SO₄ (ZEMPULSKI; ZEMPULSKI, 2007).

Na Figura 2 são apresentadas as etapas da galvanização, onde após a entrada das peças inicia-se o pré-tratamento mecânico, seguido do pré-tratamento químico.

Figura 2 – Fluxograma do processo galvanico e seus insumos.



Fonte: CPRH (2001)

Os banhos de lavagem das peças evitam o arraste de solução eletrolítica entre os diferentes tanques onde ocorre a eletrodeposição (TELLES; COSTA, 2010).

O processo de recobrimento metálico ocorre por imersão das peças a proteger em banhos com diferentes soluções eletrolíticas, submetidas à corrente elétrica contínua de baixa tensão de 5 a 6 V. As operações de pós-tratamento são complementares e opcionais (BUZZONI, 1991).

3.3 Eletrodeposição

Na etapa de eletrodeposição são utilizados banhos que contém cianetos e metais pesados, considerados perigosos para a vida e para o meio ambiente. Cianeto de sódio ou de potássio, cianeto de cobre e cianeto de prata são

frequentemente utilizados nos processos, porque formam complexos metálicos muito estáveis, além de exercerem importante papel desengraxante nas peças submetidas à eletrodeposição, pois o pH dos banhos cianídricos está entre 12 e 13 (SILVA, 1999).

Os elementos químicos considerados metais pesados são a prata, arsênio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, mercúrio, níquel, chumbo, antimônio, selênio e zinco (BAIRD & CANN, 2011). Suas densidades são maiores que a densidade da água e por isso pode-se sugerir que os metais pesados são decantados espontaneamente no fundo dos tanques de banhos químicos (BAIRD & CANN, 2011).

Entretanto, durante os banhos galvânicos estes metais estão complexados na forma de hidróxidos, tornando-se solúveis na água, sendo, portanto, necessário tratamento químico para sua remoção do efluente do processo antes da liberação para o meio ambiente (SILLOS, 2009).

3.4 Efluentes gerados

Os efluentes da indústria de galvanoplastia são decorrentes do processo de lavagem que seguem do processo de eletrodeposição (PEREIRA, 2008).

Estes efluentes são tóxicos e não biodegradáveis, constituindo assim, riscos à saúde humana e ao meio ambiente (VIJAYARAGHAVAN et al., 2005), por possuírem metais pesados em sua composição. Sendo assim eles apresentam grande quantidade de materiais suspensos e dissolvidos, tornando a água turva, promovendo a reflexão da luz pelas partículas em suspensão, dificultando a transposição da luz no ambiente aquático (VAZ. et al., 2010).

Outro problema observado é que alguns vírus e bactérias se aproveitam dessas partículas e se alojam nelas, neste caso os desinfetantes são ineficientes, tornando a turbidez um problema também de nível sanitário (VAZ, 2009).

Grandes volumes de água são utilizados nos processos de galvanização e várias técnicas podem ser utilizadas para o tratamento do efluente galvânico que podem facilitar o reuso e reduzir o volume final dos despejos lançados.

Os efluentes galvânicos podem ser basicamente classificados em (CPRH - Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, 2001):

a) Efluentes crômicos: banhos de cromo em geral, abrilhantadores e passivadores, e suas águas de lavagem;

b) Efluentes cianídricos: banhos de cobre, zinco, cádmio, prata, ouro, certas soluções desengraxantes e suas águas de lavagem;

c) Efluentes gerais ácidos: soluções decapantes, soluções desoxidantes e suas águas de lavagem;

d). Efluentes gerais alcalinos: desengraxantes químicos por imersão e eletrólitos e suas águas de lavagem;

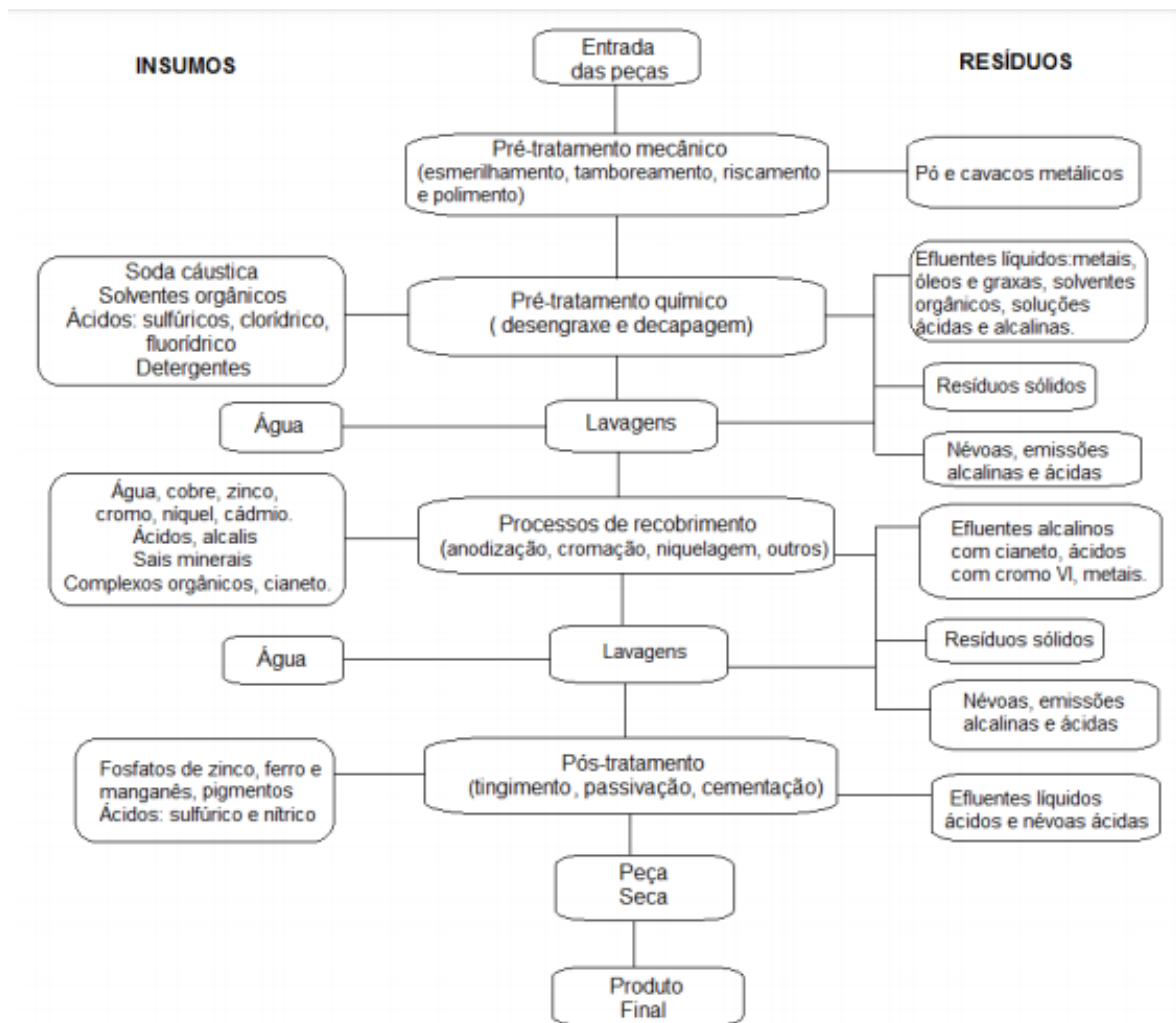
e) Efluentes quelatizados e óleos: devem ser avaliadas suas quantidades de descartes para definir se há necessidade de separá-los dos efluentes gerais. Em geral, as quantidades destes efluentes são pequenas e seus descartes poderão ser programados e controlados sem maiores problemas.

Os efluentes líquidos são provenientes dos descartes de banhos químicos, produtos auxiliares (desengraxantes, decapantes, passivadores), águas de lavagem e óleos solúveis ou não, que são utilizados para o corte ou revestimento das peças.

Geralmente são coloridos, alguns com temperatura superior a ambiente, emitem muitas vezes vapores e atingem valores extremos de pH ácido e alcalino (CPRH/GTZ (Agência de Cooperação Técnica Alemã), 2001).

Na Figura 3 são demonstrados os resíduos gerados e os insumos utilizados, em cada etapa da galvanização.

Figura 3 – Etapas de galvanização eletrolítica e seus outputs.



Fonte: BARROS (2016)

As águas de lavagem devem ser objeto de atenção sanitária por parte dos gestores da produção, pois tanto as soluções dos banhos quanto a água de lavagem não devem ser dispostas diretamente nos corpos hídricos ou nas redes de esgoto, mas obrigatoriamente sofrer processo de neutralização e retirada de ácidos, álcalis, cianetos e metais pesados (BUZZONI, 1991).

Segundo Branco (1991), a presença de ferro pode propiciar uma coloração amarelada e turva à água dependendo dos níveis de concentração.

Segundo Cartwright (1994), as tecnologias mais indicadas para tratamentos de efluentes líquidos de galvanoplastia são a osmose reversa e a eletro diálise. Também para outros diferentes efluentes, tais processos conseguem remover grande parte das impurezas presentes, mesmo dissolvidas, porém, a um custo muito

elevado. Este fator leva certas indústrias a se valerem de outras formas de tratamento, como, por exemplo, a precipitação química. Os efluentes que contêm sais de metais pesados podem ser tratados por processos físico-químicos de coagulação-floculação e sedimentação, técnica geralmente aplicada quando há precipitação dos compostos insolúveis e a conseqüente remoção dos metais pesados complexados.

Simas (2007) estudou o tratamento dos efluentes gerados pelo processo de zincagem cianídrica de indústrias de galvanoplastia objetivando a remoção de cianeto do efluente. O autor utilizou a precipitação química com sulfato de zinco, obtendo uma remoção de 94,57% do cianeto presente no efluente.

Santos (2007) utilizou resinas de troca iônica para remoção e recuperação de cobre em efluente de galvanoplastia, os resultados obtidos pelo autor demonstraram que as resinas catiônicas apresentaram maior remoção de cobre (superior a 95 % em massa).

Pereira (2008) avaliou dois materiais alternativos, bagaço de cana-de-açúcar e serragem da madeira Parajú (*Manilkara sp.*), em sistema batelada e coluna de leito fixo na adsorção de zinco em efluente real de galvanoplastia, em que a capacidade máxima de adsorção foi obtida pela serragem modificada com anidrido succínico ($7,4 \text{ mmol g}^{-1}$).

Santos (2008) investigou a utilização do adsorvente natural escamas da pinha da *Araucaria angustifolia*, na remoção de metais pesados do processo de galvanoplastia. O adsorvente estudado mostrou-se eficiente na remoção de cromo hexavalente, cromo trivalente e ferro total nas soluções sintéticas e no efluente real, removendo 99% do cromo hexavalente do efluente real em 1 hora de contato com o adsorvente.

Outro efluente oriundo deste processo é o lodo galvânico, que é gerado após o tratamento de efluentes da indústria. Nele se encontra uma grande quantidade de metais pesados, sendo assim o resíduo mais perigoso dentro da indústria metalúrgica (RIBEIRO RODRIGUES, 2010), pois gera forte risco de impacto ambiental (VEIT, 2009). Pode ocasionar a contaminação da cadeia alimentar com metais pesados por meio de sua lixiviação (MILANEZ et al., 2005).

Entre os resíduos sólidos gerados, embora em menor quantidade que o lodo galvânico, pode-se citar aqueles provenientes da filtração ou de processos de

tratamento para aumento da vida útil dos banhos, como por exemplo, carvão ativado, óleo usado, lodo metálico, além das embalagens de produtos químicos (BERNARDES et al., 2000; PACHECO, 2002).

3.4.1 Legislação ambiental

O tratamento dos efluentes do processo de galvanização, normalmente, é realizado por processos em sistemas físico-químicos em batelada, gerando uma grande quantidade de lodo, classificado como resíduo perigoso, de acordo com a ABNT NBR 10.004 e 10.005 de 2004.

A Lei 9.433 de 08/01/1997, conhecida por Lei das Águas, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) do Brasil (BRASIL, 1997). Porém, a questão diretamente relacionada à disposição de efluentes no meio ambiente é detalhada pela Resolução nº 430 de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA 430/2011 refere-se a padrões exigidos em lançamentos diretos e indiretos de efluentes em corpos receptores, exceto quando o efluente for liberado em solo, não podendo neste caso, poluir ou contaminar as águas superficiais ou subterrâneas (BRASIL, 2011).

Entre as definições apresentadas na Resolução, efluente difere de esgoto sanitário. O primeiro decorre de atividades e processos, enquanto o segundo abrange esgotos residencial, comercial, as águas pluviais e eventualmente efluentes industriais (BRASIL, 2011).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 no artigo 16º apresenta as condições físico-químicas para o lançamento de efluentes em corpos receptores (Classe 1, 2 e 3), conforme os itens abaixo sintetizados (BRASIL, 2011):

- a) pH do efluente deve estar entre 5 a 9;
- b) Temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não excederá à 3 °C no limite da zona de mistura;
- c) Permite-se a presença de óleos e graxas minerais até 20 mgL⁻¹ e vegetais até 50 mgL⁻¹;

d) É proibido nos efluentes o lançamento de poluentes orgânicos persistentes (POPs);

e) Processos industriais em que possam surgir dioxinas e furanos deve-se utilizar tecnologia adequada para a redução ou eliminação completa destes componentes;

f) É possível a presença de material sedimentável até 1 mL^{-1} , com exame de cone Imhoff por uma hora;

g) Para corpos receptores lagos e lagoas não deve haver material sedimentável;

h) Proibido material flutuante no efluente;

i) Vazão máxima do efluente pode ser uma vez e meia (1,5) a vazão média do período diário.

O Quadro 1 mostra os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 e que devem ser atendidos pelas empresas galvanicas brasileiras, havendo disposições legais adicionais, mais rigorosas, no âmbito do órgão ambiental regional deverão ser igualmente observadas.

Quadro 1- Padrões de lançamento de efluentes no Brasil.

Parâmetros inorgânicos	Valores máximos (mgL⁻¹)	Parâmetros inorgânicos	Valores máximos (mgL⁻¹)
Arsênio total - As	0,5	Nitrogênio amoniacal total - N	20,0
Bário total - Ba	5,0	Prata total - Ag	0,1
Boro total - B	5,0	Selênio total - Se	0,3
Cádmio total - Cd	0,2	Sulfeto - S	1,0
Chumbo total - Pb	0,5	Zinco total - Zn	5,0
Cianeto total - Cn	1,0	Parâmetros orgânicos	
Cianeto livre - Cn	0,2	Benzeno	1,2
Cobre dissolvido - Cu	1,0	Clorofórmio	1,0
Cromo hexavalente - Cr ⁺⁶	0,1	Dicloroetano	1,0
Cromo trivalente - Cr ⁺³	1,0	Estireno	0,07
Estanho total - Sn	4,0	Etilbenzeno	0,84
Ferro dissolvido - Fe	15,0	Fenóis totais	0,5
Fluoreto total - F	10,0	Tetracloroeto de carbono	1,0
Manganês dissolvido - Mn	1,0	Tricloroetano	1,0
Mercúrio total - Hg	0,01	Tolueno	1,2
Níquel total - Ni	2,0	Xileno	1,6

Fonte: Brasil (2011)

3.5 Processos de tratamento

3.5.1 Coagulação/floculação

A coagulação/floculação é um processo frequentemente aplicado na etapa primária de tratamento das águas residuárias, mas pode também ser aplicada nas etapas secundárias e terciárias. É um dos estágios mais importantes do tratamento físico-químico das águas residuárias industriais, pois nele ocorre a redução de materiais suspensos e coloidais responsáveis pela turbidez das águas residuárias e ocorre a redução de matéria orgânica a qual contribui para o conteúdo de DBO e DQO (SCHIMITT, 2011).

Segundo Vaz (2009), a primeira etapa do tratamento de efluentes contendo metais pesados é a coagulação química, a qual provavelmente influencia de forma

significativa as demais etapas de tratamento. Dada a importância deste processo de separação é fundamental estudos do comportamento dos agentes coagulantes nesta etapa.

No processo de coagulação deve-se manter agitação intensa, pois assim haverá uma maior interação entre o efluente (água) e o agente coagulante (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A floculação consiste no agrupamento de partículas já coaguladas, se tornando maiores e formando flocos que sedimentam (CARDOSO, 2007).

Depois que estas partículas foram neutralizadas pelo processo de coagulação, surge uma força de atração entre elas, promovendo a agregação das mesmas, possibilitando a formação de um acumulado de partículas denominado de flocos. A velocidade de formação dos flocos depende da agitação térmica (movimento Browniano) e após os flocos estarem com 0,1 mm, a agitação mecânica também influencia na sua formação, no entanto, esta agitação não deve ser muito rápida para não desaglomerar os flocos, pois isto ocasionaria dificuldade na remoção destes do efluente (CPRH, 2001).

Na coagulação e floculação um ponto essencial do processo é a dosagem e a condição ótima para aplicação do coagulante, etapa de grande importância no tratamento, uma vez que etapas subsequentes dependem desta. Isso porque as reações químicas envolvidas no processo são muito rápidas e dependem da energia de agitação, da dose do coagulante, do pH e da alcalinidade da água (SCHIMITT, 2011).

A coagulação pode ou não ser seguida pela floculação, mas, em ambos os casos, o objetivo é aumentar a quantidade de material suspenso a ser removida na sedimentação (FORNARI, 2007).

3.5.2 Sedimentação

Também conhecida como decantação, a sedimentação é a terceira e última etapa de clarificação da água ou efluente após estes terem passado pelos processos de coagulação e floculação (HELLER & PÁDUA, 2006).

O processo de sedimentação tem por objetivo separar da água os flocos formados na etapa de floculação. Esta separação é resultado da ação da gravidade e inércia sobre os flocos e a água (SCHIMITT, 2011).

Segundo VAZ (2009) o processo de coagulação/floculação com posterior sedimentação propicia a remoção de cor e turbidez do efluente a ser tratado.

3.5.3 Filtração

A filtração é um processo de separação dos meios sólido e líquido, retendo impurezas como partículas suspensas e flóculos, e microrganismos presentes na água através de um meio poroso (RICHTER & NETTO, 1991).

A filtração é atribuída a função mais importante no tratamento da água, esta etapa adquire protagonismo devido ao fato de ser o processo final na remoção de impurezas em uma estação de tratamento de água. Cabe a filtração a contenção de falhas por ventura ocorridas em processos anteriores (DI BERNARDO & DANTAS, 2005).

A remoção das impurezas, partículas e microrganismos da água através da filtração se dá pela retenção das mesmas nos espaços vazios e poros do meio filtrante, esta característica permite ao filtro a remoção de partículas responsáveis pela cor e pela turbidez da água, cuja presença pode reduzir a eficiência dos processos de desinfecção e inativação dos microrganismos, dentre eles os patogênicos (LIBÂNIO, 2010).

Os materiais que integram o leito filtrante de um filtro são de suma importância para a sua eficiência, as características primordiais destes materiais que devem ser observadas são porosidade, dureza, densidade, tamanho, e forma e geometria (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Ioshimura (2016) apresenta um estudo de comparação de leitos filtrantes de camada simples composta por areia, diferenciados entre si pela faixa de granulometria utilizada em cada filtro. A filtração rápida precedida por etapas de coagulação, floculação, e sedimentação demonstrou eficiência de remoção de turbidez superior aos 90% em dois dos três tipos de filtros, e eficiência de remoção de cor aparente acima dos 90% para dois dos três tipos de filtros.

3.6 Coagulantes

Os coagulantes podem ser divididos em duas classes: inorgânicos e orgânicos. Para os agentes coagulantes inorgânicos os mais utilizados são os sais de alumínio e de ferro. Contudo, pesquisas têm apontado algumas desvantagens, tais como problemas de saúde causados pelo alumínio residual em águas tratadas, produção de grande volume de lodo, consumo da alcalinidade do meio, acarretando custos adicionais com produtos químicos utilizados na correção do pH, principalmente no tratamento de água (VAZ, 2009).

Já para os coagulantes orgânicos estes são não só se apresentam como agentes de coagulação, mas também aceleradores de floculação.

3.6.1 Coagulantes inorgânicos

Os coagulantes inorgânicos geram sais contendo ferro ou alumínio, e estes são prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente (DA SILVA et al., 2003).

Os coagulantes inorgânicos são os coagulantes mais usados, destacando os sais de alumínio e ferro, devido ao fato de apresentarem baixo custo e capacidade de coagulação comprovada no tratamento de água e efluente. Porém o uso dos coagulantes inorgânicos apresenta uma preocupação ambiental, pois o lodo gerado pode conter íons solúveis, assim dificultando a sua disposição final e podendo causar danos à saúde humana (VAZ,2009).

Dentre algumas opções de coagulantes orgânicos destaca-se o Sulfato de Alumínio e o BONDERITE S-WT 8723, ambos já utilizados na indústria.

3.6.1.1 Sulfato de Alumínio

Segundo SILVA (1999), o sulfato de alumínio é de fácil transporte e manejo, apresenta custo reduzido e é produzido em diversas regiões do Brasil. A coagulação com este coagulante é geralmente efetiva na faixa de pH entre 5,0 a 8,0.

A coagulação com este coagulante é geralmente efetiva na faixa de pH entre 5,0 a 8,0. Os flocos resultantes da coagulação com sulfato de alumínio são

essencialmente de natureza inorgânica, portanto, o lodo não entra em decomposição biológica, isto é, não é biodegradável, dificultando sua disposição final. Além disso, apresenta um lodo gelatinoso e volumoso (SANTOS FILHO & SANTA RITA, 2002).

Carvalho (2008) destaca como característica negativa ao uso do sulfato de alumínio a geração do lodo ao longo do tratamento, podendo apresentar concentração de metais, sendo necessário um maior cuidado no tratamento e disposição final.

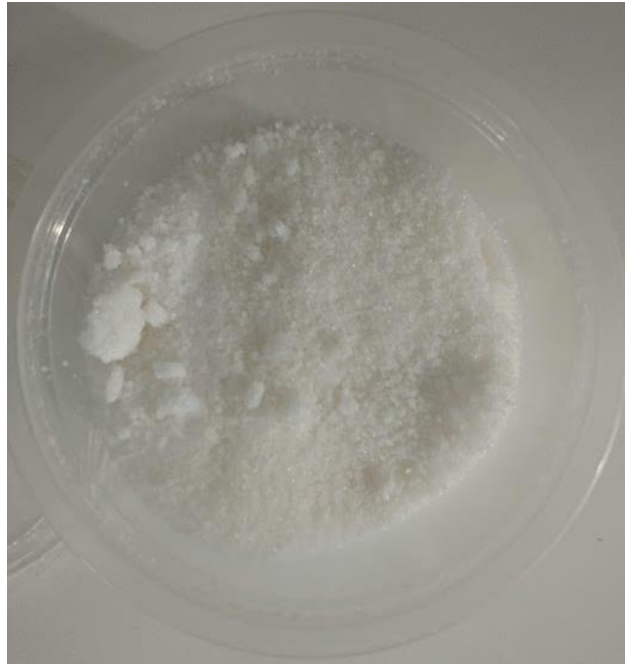
O sulfato de alumínio líquido é fabricado a partir de hidrato de alumínio, mantendo-se um teor de água suficiente para impedir sua cristalização. O coagulante é comercializado com 7 a 8% de alumina. Quando o produto é de boa qualidade, não apresenta resíduos insolúveis e é incolor (PAVANELLI, 2001).

Vaz (2009) trabalhando no tratamento de efluente de indústria de galvanizados apresentou em seus estudos uma eficiência de redução de 98,13% na cor aparente e 98,78% na turbidez do efluentes após tratamento com sulfato de alumínio.

3.6.1.2 BONDERITE S-WT 8723

O BONDERITE é um floculante aniônico (Figura 4) que devido a sua longa cadeia e alto peso molecular neutraliza a maioria de finas partículas minerais suspensas, formando macroflocos que são facilmente removidos. O produto é também adequado para espessar os lodos inorgânicos e quando utilizado como aditivo floculante, em combinação com floculantes inorgânicos primários, seu principal efeito é facilitar a aglomeração dos hidróxidos formados no processo primário de floculação. É eficiente em uma faixa de pH entre 6,0 - 8,5.

Figura 4 - BONDERITE S-WT 8723.



Fonte: Aatoria própria (2019)

3.6.2 Coagulante orgânico

Segundo DA SILVA et al., (2003) o uso de biopolímeros extraídos de vegetais no processo de coagulação tem várias vantagens em comparação com os sais inorgânicos: a natureza da alcalinidade da água não é consumida durante o processo de tratamento; o lodo gerado após tratamento apresenta tanto um menor volume como se encontra livre de metais pesados quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos e, finalmente estes biopolímeros podem ser originários de plantas locais com fácil processamento dando um caráter potencial de baixos custos operacionais quando comparados com reagentes inorgânicos muitas vezes importados.

Sais de alumínio e ferro são ambientalmente indesejáveis, pois os lodos produzidos podem disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana. É necessário, portanto, buscar coagulantes ambientalmente mais compatíveis (DA SILVA et al., 2003).

Os coagulantes de origem orgânica naturais ou sintetizados, conhecidos universalmente como polieletrólitos, constituídos de grandes cadeias moleculares, são dotadas de sítios com cargas positivas ou negativas (BORBA, 2001).

O uso de biopolímeros extraídos de vegetais no processo de coagulação tem várias vantagens em comparação com os sais químicos:

- (i) A natureza da alcalinidade da água não é consumida durante o processo de tratamento;
- (ii) O lodo gerado após tratamento apresenta tanto um menor volume como se encontra livre de metais pesados quando comparado com o lodo gerado com uso de constituintes químicos;
- (iii) Estes biopolímeros podem ser originários de plantas locais com fácil processamento dando um caráter potencial de baixos custos operacionais quando comparados com reagentes químicos muitas vezes importados (DA SILVA et al., 2003, p. 3).

Assim, há lacunas sobre o conhecimento acerca da aplicação de biopolímeros, em especial os de origem vegetal, no tratamento de diferentes águas residuárias industriais (DA SILVA et al., 2003).

Destacam-se como coagulantes orgânicos a *Moringa oleifera*, a quitosana, o tanino, o quiabo, dentre outras opções.

3.6.2.1 *Moringa oleifera*

Devido a inconvenientes do uso de coagulantes inorgânicos no processo de coagulação, como a geração de um lodo químico não biodegradável, pesquisas têm apontado o uso de biopolímeros no tratamento de diversos tipos de efluentes. Alguns biopolímeros estão sendo investigados mais intensamente que outros, como é o caso da *Moringa oleifera Lam* (DA SILVA et al., 2003).

Para Bongiovani et al. (2013), vários países estão adotando a implementação do uso de coagulantes naturais, sendo a *Moringa oleifera* (Figura 5) um polímero de maior utilização e destaque. A *Moringa oleifera* é uma planta tropical pertencente à família Moringaceae (KATAYON et al. 2006), com 14 espécies conhecidas. A *Moringa oleifera* é nativa da Índia, mas agora é encontrada em diversos países da Ásia, África e América Latina (BHATIA et al. 2007).

Figura 5 – Árvore, flor e semente da *Moringa oleifera*.



Fonte: Janz (2019)

Segundo Jahn (1989), ao se isolar o produto coagulante presente nas sementes da *Moringa oleifera*, é identificável seis tipos de polipeptídios, formadores por unidades de aminoácidos. Sua ação coagulante é devido a esta fração presente de proteína catiônica com alto peso molecular, que causa desestabilização das partículas e posterior coagulação dos coloides (NDABIGENGESERE et al., 1995).

Vários estudos utilizando a solução da semente de *Moringa oleifera* têm demonstrado que suas sementes possuem propriedades coagulantes efetivas e que elas não são tóxicas a humanos e animais (NDABIGENGESERE et al., 1995; MUYIBI e EVISON, 1995).

Quando comparada com coagulantes inorgânicos a *Moringa oleifera* apresenta uma série de vantagens, dentre elas: não requer ajustes de pH e alcalinidade, não causa problemas de corrosão, de baixo custo, não altera o pH da água e produz baixo volume de lodo (GHEBREMICHAEL, 2004).

Para Ndabigengesere et al. (1995) o agente ativo de coagulação na *Moringa oleifera* se deve a presença de uma proteína catiônica de alto peso molecular, que desestabiliza as partículas contidas na água e floculam os coloides.

Segundo Katayon et al. (2006) as sementes e solução de *Moringa oleifera* quando armazenadas por muito tempo perdem sua eficiência. Portanto, é recomendado utilizar sementes colhidas recentemente.

Okuda et al. (2001) e Madrona et al. (2010) consideram o uso de soluções salinas para extração da proteína da *Moringa oleifera* importante, pois ocorre um aumento significativo no poder de coagulação da semente.

Madrona et al. (2010) afirmam que existe uma grande variedade de coagulantes que podem ser utilizados em processos de tratamento convencionais, os quais podem ser de origem química (sintética) ou natural (orgânica). Coagulantes inorgânicos possuem função de estabilizar as partículas coloidais a fim de que elas se encontrem, se aglutinem e formem flocos que, posteriormente, irão sedimentar para que sejam eliminados da água (SANTOS, 2001).

Silva et al. (2015), comparou a eficiência das dosagens dos coagulantes *Moringa oleifera*, quitosana, sulfato de alumínio e cloreto férrico para o tratamento do efluente de galvanização através do ensaio de coagulação/floculação com o uso do Jar-test. As soluções de coagulantes orgânicos, quando comparadas, tiveram maiores eficiência, pois em termos de turbidez e cor, alcançaram uma redução significativa chegando a 0 NTU de turbidez e 27,6 mgL⁻¹ de cor (redução de 100% e 33%, respectivamente), já o pH não foi alterado ficando estável entre 3 e 4.

Alves (2012) avaliou a eficiência do processo de coagulação/floculação e do processo combinado de coagulação/floculação/adsorção utilizando *Moringa oleifera* para tratamento de efluente líquido de uma indústria galvânica, através da análise dos parâmetros DQO, cor aparente, pH, turbidez e concentração dos íons metálicos Cromo, Zinco, Cobre e Níquel. A *Moringa oleifera* foi utilizada como coagulante na forma de semente e sua casca e vagem como adsorventes. Neste estudo em questão, os melhores resultados demonstraram eficiência de remoção dos parâmetros DQO, cor aparente, turbidez e dos metais Cromo, Zinco, Cobre e Níquel, com valores de 90,49%, 78,34%, 95,13%, 25,29%, 84,30%, 51,11% e 24,74%, respectivamente.

Vaz (2010), avaliou a eficiência do tratamento de efluente de galvanoplastia, através do uso de coagulantes do tipo inorgânico (cloreto férrico e sulfato de alumínio) e orgânico (quitosana e sementes de *Moringa oleifera*, Tanfloc SG e Acquapol C1), para os parâmetros cor, turbidez e pH. Este autor apresentou em seus estudos destaque ao coagulante orgânico quitosana pois demonstrou ser o mais promissor para a remoção de cor aparente e turbidez, removendo 98,68% e 99,44%, respectivamente.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de coleta e realização dos ensaios

A coleta foi realizada em uma pequena indústria de galvanização, localizada no Norte do Paraná, na cidade de Ibiporã. As atividades desenvolvidas nesta empresa são desengraxe, decapagem e lavagem. Os efluentes gerados nesses processos são direcionados à um tanque único.

Foram feitas três coletas em dias diferentes, para a confecção de três ensaios, após coletado o efluente foi transportado até o Laboratório de Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, e armazenado a temperatura ambiente.

Os ensaios foram realizados logo após a coleta do efluente nas seguintes etapas: caracterização do efluente, pré-ensaio, ensaio de coagulação/floculação/sedimentação/filtração.

4.3 Preparo das soluções

4.3.1 Solução padrão de Sulfato de Alumínio

O preparo da solução coagulante consistiu-se na diluição de 10 g do sulfato de alumínio em 1 L de água destilada.

4.3.2 Solução padrão de BONDERITE S-WT 8723

Para a solução de BONDERITE S-WT 8723 diluiu-se em agitação 1,5 g do coagulante em 1 L de água destilada quente.

4.3.3 Solução padrão de *Moringa oleifera*

O preparo da solução coagulante extraída da semente de *Moringa oleifera* foi realizado conforme Janz et al. (2018), utilizou-se solução salina e 50 g de sementes descascadas. A solução salina consiste em 1M de NaCl diluídos em 1 L

de água, solução essa que foi misturada às sementes de *Moringa oleifera* descascada, e batida em liquidificador. Após a trituração foi realizada a filtração da solução coagulante com um coador de pano, para remover partículas mais grosseiras.

4.4 Ensaios Laboratoriais

4.4.1 Pré-ensaio

O pré-ensaio para definição da concentração dos coagulantes a serem utilizados foi realizado adicionando diferentes quantidades do coagulante a um béquer, contendo 100 mL da amostra do efluente. A melhor concentração foi aquela que apresentou melhor formação de flocos e tal definição foi realizada de forma visual.

Os Quadros 2, 3 e 4 demonstram os resultados referentes às concentrações testadas.

Quadro 2: Concentrações testadas e escolhida para o ensaio 1

Ensaio 1		
Coagulante	Dosagem testada	Dosagem escolhida
<i>Moringa oleifera</i>	1, 5, 6 e 10 mL	6 mL
BONDERITE S-WT 8723	1, 2 e 3 mL	2 mL

Fonte: Autoria própria (2019)

Quadro 3: Concentrações testadas e escolhida para o ensaio 2

Ensaio 2		
Coagulante	Concentração testada	Concentração escolhida
<i>Moringa oleifera</i>	1, 2 e 3 mL	2 mL
BONDERITE S-WT 8723	1, 4, 5 e 6 mL	4 mL
Sulfato de Alumínio	1, 2, e 3 mL	2 mL

Fonte: Autoria própria (2019)

Quadro 4: Concentrações testadas e escolhida para o ensaio 3

Ensaio 3		
Coagulante	Concentração testada	Concentração escolhida
<i>Moringa oleifera</i>	5, 6, 10, 11 e 13 mL	10 mL
BONDERITE S-WT 8723	1, 5, 6 e 10 mL	6 mL

Fonte: Autoria própria (2019)

4.4.2 Coagulação/Floculação/Sedimentação

Para os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foi utilizado o aparelho Jar-Test, modelo de fabricação 218/06 LDB de marca Nova Ética com capacidade para 6 jarros graduados de 2 L cada (Figura 6).

Figura 6 - Jar-Test utilizado nos ensaios



Fonte: Autoria própria (2019)

Para isso, seguiu-se adaptações da metodologia de Theodoro (2012) onde, após adição dos coagulantes, programou-se o aparelho para que executasse uma agitação rápida, com rotação de 150 rpm durante 10 minutos, simulando o processo de coagulação, seguido de 3 minutos de agitação lenta, com rotação de 15 rpm,

simulando o processo de floculação e por fim, houve o desligamento do aparelho, para que o processo de sedimentação se iniciasse.

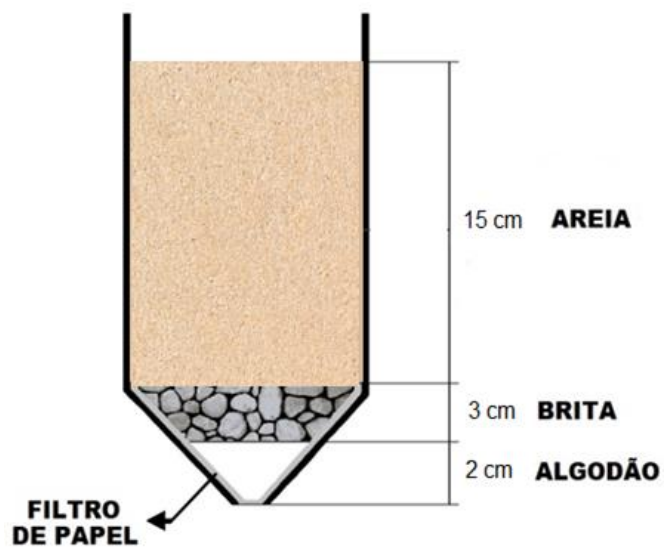
Após iniciado o processo de sedimentação, as coletas dos efluentes foram realizadas nos tempos de 3, 13, 23 e 33 minutos. Para o ensaio 1, os coagulantes foram a *Moringa oleifera* e o BONDERITE S-WT 8723; para o ensaio 2, os coagulantes foram a *Moringa oleifera*, BONDERITE S-WT 8723 e sulfato de alumínio; já para o ensaio 3, os coagulantes foram a *Moringa oleifera* e o BONDERITE S-WT 8723. O ensaio 1 foi realizado em triplicata e os ensaios 2 e 3 em duplicata.

4.4.3 Filtração

4.4.3.1 Construção dos filtros de areia

Para o processo de filtração, foram construídos 6 filtros de dimensões idênticas, seguindo metodologia de Di Bernado et al. (2003), utilizando garrafas de Polietileno Tereftalato (PET) de 2 litros, brita e areia com granulometria entre 0,450mm e 0,800mm como material filtrante e dimensões demonstradas na figura 7. Os filtros dispostos em estrutura metálica e posicionados abaixo do equipamento Jar-test de modo a simular uma filtração direta de fluxo descendente e reutilizados nos 3 ensaios, após a devida lavagem (Figura 8).

Figura 7: Dimensões e ordem dos materiais utilizados na fabricação dos filtros



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 8: Filtros montados e posicionados



Fonte: Autoria própria (2019)

O fluxo foi liberado para os filtros após a coleta final de amostras no equipamento Jar-Test, no tempo 33 minutos. O tempo de filtração tomou 6 minutos após o início da passagem da água filtrada na saída dos filtros, este tempo se deu devido ao controle de angulação do fluxo de amostras aos filtros, onde procedeu-se de maneira que se tenha 70° do tempo 0 a 2 minutos, 60° do tempo 2 a 4 minutos, e 50° do tempo 4 a 6 minutos (ANDRADE, 2015).

Os ensaios foram realizados em dias diferentes, porém o mesmo filtro foi reutilizado, a partir da lavagem adequada e a umidificação do leito filtrante em aproximadamente 24 horas antes da sua utilização, para que caminhos preferenciais não fossem seguidos pelas amostras.

4.5 Parâmetros analisados

A caracterização e análise do efluente foram realizadas através dos seguintes parâmetros: cor aparente, condutividade elétrica, pH, turbidez e sólidos totais dissolvidos. Os procedimentos foram realizados conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012), exceto para o parâmetro sólidos totais dissolvidos.

Na Tabela 1 encontram-se dispostos os parâmetros, os equipamentos utilizados para análise, os ensaios avaliados e suas respectivas metodologias.

Tabela 1 – Parâmetros analisados, equipamentos, metodologia e ensaios.

Parâmetro	Equipamento	Metodologia	Ensaio
Cor aparente	Espectrofotômetro DR 5000 – HACH	2120 – C	1, 2 e 3
Condutividade elétrica	Condutivímetro Digital Portátil CD 860 - Instrutherm	2510 – B	1 e 2
pH	Medidor de pH de Bancada MPA 210 – Tecnozon	4500 H + B	1, 2 e 3
Turbidez	Turbidímetro AP 2000 – Policontrol	2130 – B	1, 2 e 3
Sólidos totais dissolvidos	Caneta medidora	-	1 e 3

Fonte: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012)

Os sólidos totais dissolvidos foram analisados com a utilização de uma caneta medidora.

4.6 Análise estatística

Os resultados obtidos a partir dos ensaios, foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA), com o auxílio do software Past.

O p-valor obtido a partir da análise de variância, verifica a interação entre Coagulante e Tempo, considerando o nível de significância adotado. Caso o p-valor seja menor que 5%, o grau de interação entre os dois fatores é considerado

significativo, se apresentado significância, é realizada a aplicação do teste de Tukey a nível de 5% de significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do efluente bruto

A caracterização do Ensaio 1, 2 e 3 do efluente galvânico está apresentada nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 2. Caracterização do efluente bruto (Ensaio 1).

Parâmetro (unidade)	Resultados encontrados
Cor aparente (mgPtCoL ⁻¹)	3850
Turbidez (NTU)	485
pH	3,56
Condutividade elétrica (mSm ⁻¹)	10,05
Sólidos totais dissolvidos (mgL ⁻¹)	4800

Fonte: Aatoria própria (2019)

Tabela 3. Caracterização do efluente bruto (Ensaio 2).

Parâmetro (unidade)	Resultados encontrados
Cor aparente (mgPtCoL ⁻¹)	389
Turbidez (NTU)	101
pH	9,12
Condutividade elétrica (mSm ⁻¹)	11,58

Fonte: Aatoria própria (2019)

Tabela 4. Caracterização do efluente bruto (Ensaio 3).

Parâmetro (unidade)	Resultados encontrados
Cor aparente (mgPtCoL ⁻¹)	2000
Turbidez (NTU)	1030
pH	3,13
Sólidos totais dissolvidos (mgL ⁻¹)	7510

Fonte: Aatoria própria (2019)

Os resultados do efluente bruto dos ensaios 1 e 3 apresentaram características semelhantes como altos valores para os parâmetros cor aparente, turbidez, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e pH ácido próximo de 3, já o ensaio 2 apresentou características diferentes, com uma turbidez menos elevada e pH básico de 9,12 e isso foi devido a fatores industriais, como uma maior produção de galvanizados no dia da coleta, sendo necessário adicionar uma quantidade maior de reagentes aos banhos.

Segundo SARKAR et al (2006) o desempenho dos coagulantes depende das características das águas residuárias

5.2 Caracterização do efluente pós tratamento

5.2.1 Cor aparente

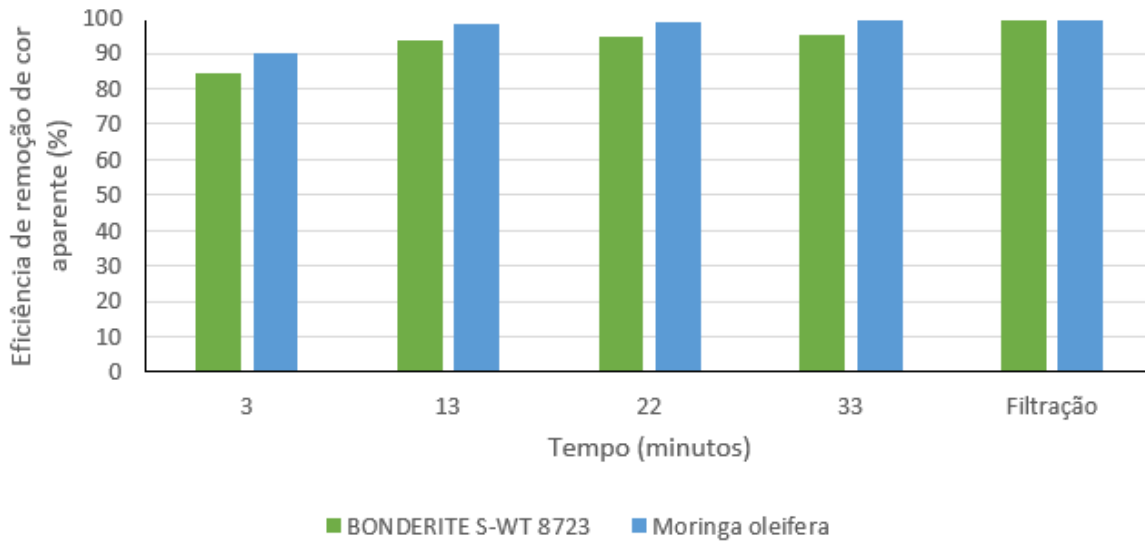
O Quadro 5 apresenta os resultados das análises de cor aparente do efluente para os ensaios 1, 2 e 3 tratados com BONDERITE S-WT 8723, *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio e as Figuras 9, 10 e 11 os gráficos de porcentagem de eficiência de remoção.

Quadro 5: Resultados para o parâmetro cor aparente.

Cor aparente (mgPtCoL ⁻¹)						
Ensaio	Coagulante	Tempo (minutos)				Filtro
		3	13	23	33	
1	BONDERITE S-WT 8723	607,00	242,00	197,67	178,67	13,67
	<i>Moringa oleifera</i>	383,33	67,33	47,00	31,00	27,00
2	BONDERITE S-WT 8723	21,00	18,00	17,00	19,00	27,50
	<i>Moringa oleifera</i>	1240,00	521,50	250,00	157,50	35,50
	Sulfato de alumínio	284,50	58,50	32,00	25,00	20,50
3	BONDERITE S-WT 8723	1540,00	356,50	286,50	282,00	245,50
	<i>Moringa oleifera</i>	424,50	262,00	233,00	213,00	365,00

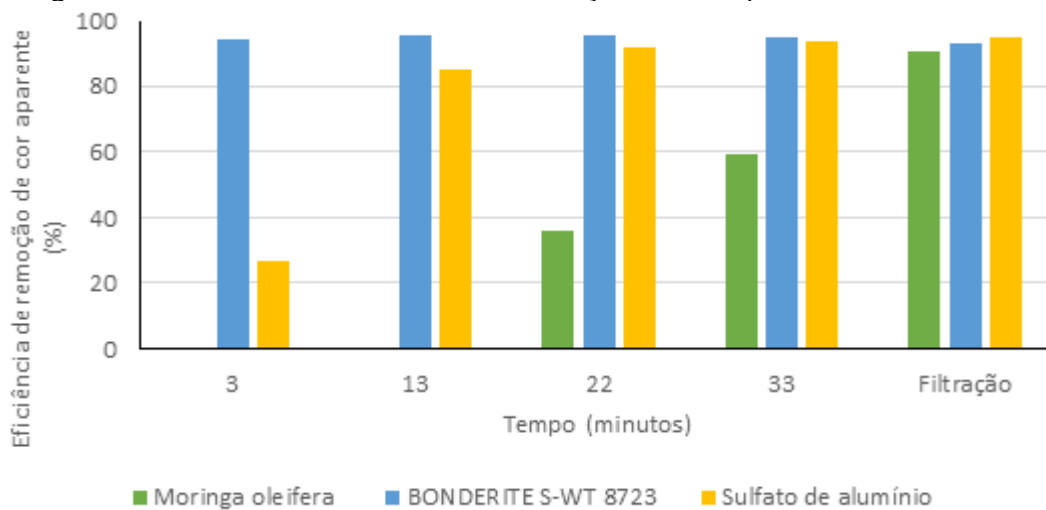
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 9: Resultado da eficiência de remoção de cor aparente do ensaio 1.



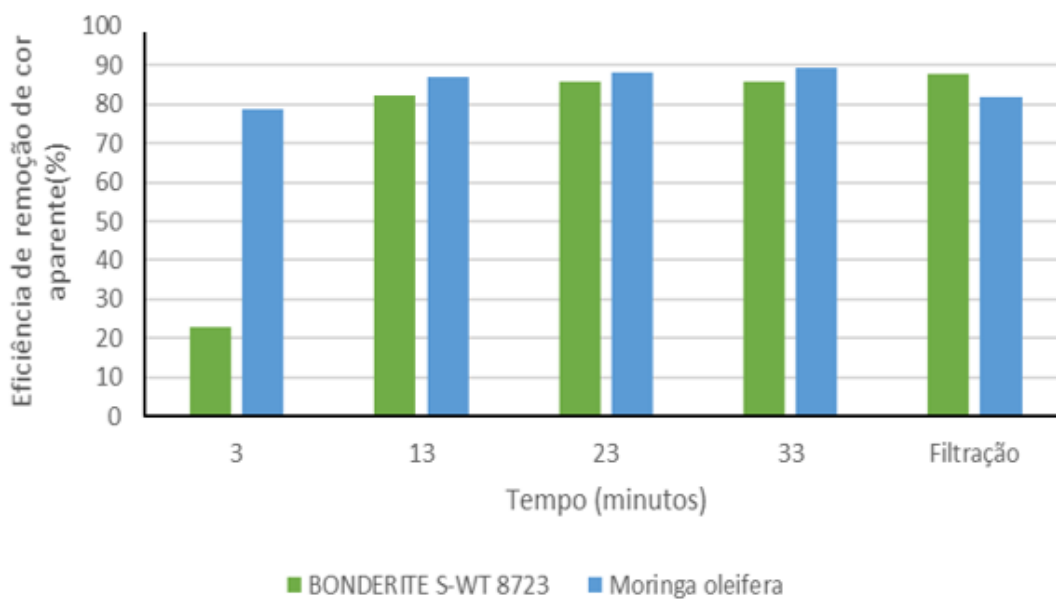
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 10: Resultado da eficiência de remoção de cor aparente do ensaio 2.



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 11: Resultado da eficiência de remoção de cor aparente do ensaio 3.



Fonte: Autoria própria (2019)

Verifica-se que o melhor resultado de redução de cor aparente para o ensaio 1 ocorreu com a utilização do coagulante BONDERITE S-WT 8723 após o processo de filtração. Pôde-se constatar também a eficiência do uso da semente de *Moringa oleifera*, pois apresentou resultados de redução de mais de 90% de cor aparente já no primeiro tempo de análise.

Para o ensaio 2 que apresentou cor aparente 10 vezes menor que o ensaio 1 o melhor resultado encontrado foi o do coagulante BONDERITE S-WT 8723 no

tempo de 23 minutos, mas esse resultado foi piorado conforme a passagem do tempo, principalmente após a passagem pelo filtro de areia, pois ele pode ter agregado matéria orgânica ao efluente.

Pode-se observar que o sulfato de alumínio foi pouco eficiente no começo do processo, porém quando comparado aos outros coagulante, obteve resultado melhor ao final do processo atingindo redução de 94,73%.

Para o ensaio 3 observa-se novamente a grande eficiência da *Moringa oleifera* logo no primeiro tempo, e o melhor resultado foi alcançado por ela no tempo de 33 minutos. Após a passagem pelo filtro nota-se que houve agregação de cor, podendo-se supor que houve um carreamento de matéria orgânica e possível passagem de sólidos pelo leito filtrante. O coagulante BONDERITE S-WT 8723 alcançou sua maior eficiência após a passagem pelo filtro, Apresentando 99,6% de remoção para o parâmetro cor aparente.

A legislação do Conselho Nacional Do Meio Ambiente (CONAMA) na resolução Nº 357/2005 (BRASIL, 2005) inclui a cor verdadeira como padrão de classificação de águas doces, porém o parâmetro analisado foi a cor aparente, desta forma não existe valor para comparação.

As Tabelas 5, 6 e 7 apresentam os resultados de análise de variância. Quando realizado o teste estatístico para ambos os parâmetros os resultados encontrados indicam que os coagulantes utilizados no experimento não são estatisticamente iguais entre si, pois os valores de FC encontrado foram maiores que os valores de F crítico tabelado.

Tabela 5: Resultados da Análise de Variância para a cor aparente do efluente do ensaio 1.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	1	139946.7	139946.7	14.409	0.001133	4.351244
Tempo	4	805583.1	201395.8	20.736	6.94E-07	2.866081
Total	5	945529.8				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 6: Resultados da Análise de Variância para a cor aparente do efluente do ensaio 2.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	2	1026957.87	513478.9	245.32	3.4816E-12	3.68232
Tempo	4	930199	232549.8	111.10	5.8992E-11	3.055568
Total	6	1957156.87				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 7: Resultados da Análise de Variância para a cor aparente do efluente do ensaio 3

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	1	294273.8	294273.8	93.999	2.1092E-06	4.964603
Tempo	4	1587965.2	396991.3	126.81	1.5945E-08	3.47805
Total	5	1882239				

Fonte: Autoria própria (2019)

Nas Tabelas 5, 6 e 7, observa-se que o p-valor para os três ensaios é menor que 0,05, indicando que a interação entre os fatores Tempo e Coagulante é significativa a 5% de significância, porém não há a necessidade do teste Tukey para os ensaios 1 e 3, já que são apenas dois coagulantes em comparação.

Na Tabela 8 está representado o Teste de Tukey para o ensaio 2, identificando o tratamento que apresenta diferença significativa.

Tabela 8 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro cor aparente.

Tratamentos	A	B	C
A	-	0.1594	0.03666
B	3.378	-	0.9408
C	4.444	1.066	-

(A) *Moringa oleifera* (B) BONDERITE S-WT 8723 (C) Sulfato de Alumínio

Fonte: Autoria própria (2019)

Observando os valores acima da diagonal principal na Tabela 8 identifica-se a presença de diferenças significativas entre o tratamento representado pelo valor menor que 0,05, ou seja, há diferença significativa no uso do coagulante sulfato de alumínio, devido a sua maior eficiência na remoção de cor aparente.

5.2.2 Turbidez

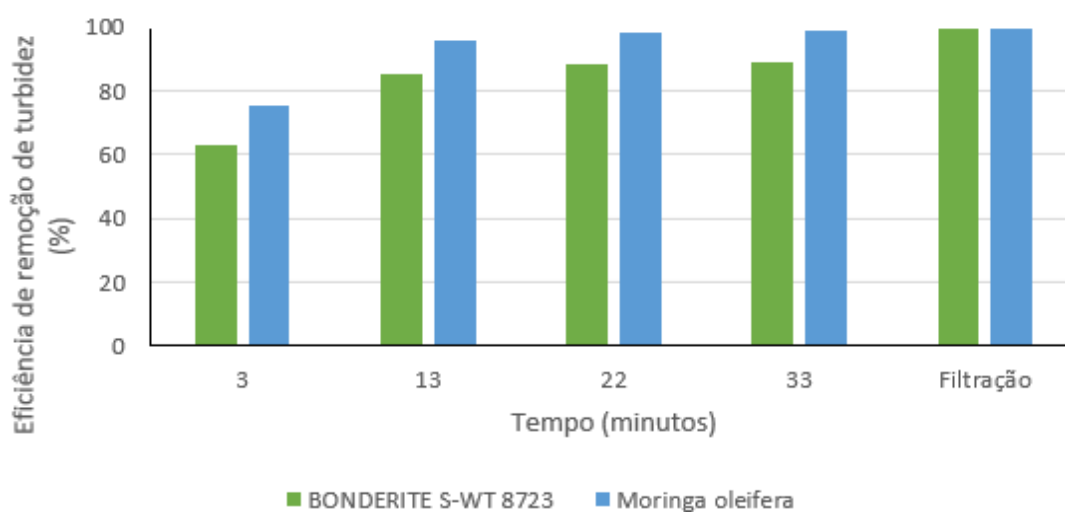
O Quadro 6 apresenta os resultados do efluente para o parâmetro turbidez para os 3 ensaios e as Figuras 12, 13 e 14 representam os resultados da eficiência de remoção de turbidez.

Quadro 6: Resultados para o parâmetro turbidez

Turbidez (NTU)						
Ensaio	Coagulante	Tempo (minutos)				Filtro
		3	13	23	33	
1	BONDERITE S-WT 8723	179,60	70,07	56,50	53,73	2,37
	<i>Moringa oleifera</i>	118,00	21,63	9,31	5,04	3,06
2	BONDERITE S-WT 8723	7,38	0,78	0,66	0,55	5,69
	<i>Moringa oleifera</i>	213,50	108,00	61,25	38,60	11,12
	Sulfato de alumínio	91,00	11,10	6,20	3,43	2,37
3	BONDERITE S-WT 8723	390,00	162,00	130,50	3,11	103,00
	<i>Moringa oleifera</i>	204,50	113,50	96,00	85,95	170,00

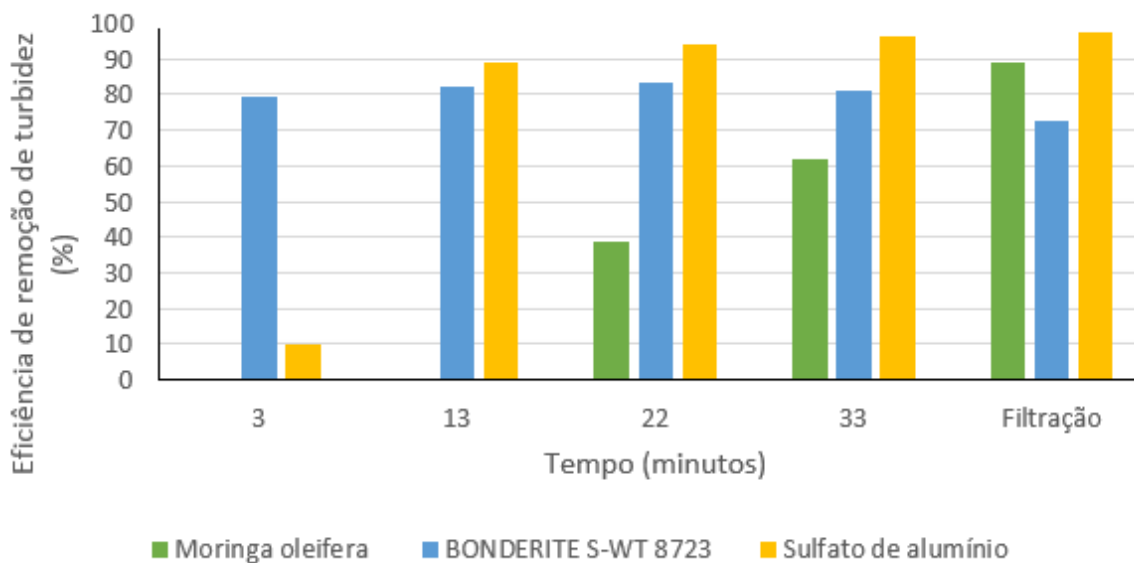
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 12: Resultado da eficiência de remoção de turbidez do ensaio 1.



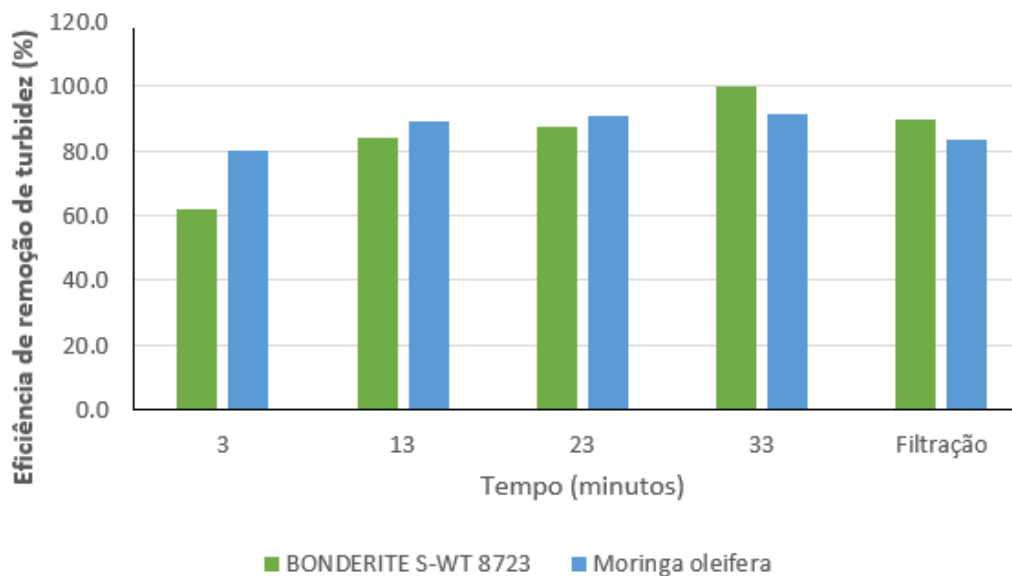
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 13: Resultado da eficiência de remoção de turbidez do ensaio 2.



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 14: Resultado da eficiência de remoção de turbidez do ensaio 3.



Fonte: Autoria própria (2019)

Pelo fato de o efluente de galvanoplastia conter em sua composição metais pesados e uma grande variedade de materiais dissolvidos e suspensos os valores de turbidez apresentam-se elevados, corroborando com Vaz (2009). Este autor encontrou resultados bem elevados de turbidez nas análises de seus efluentes, sendo o valor máximo de 297 NTU. Já Alves (2012) apresentou resultados em torno de 77,8 NTU como valores máximos.

Observa-se que para o ensaio 1, o coagulante BONDERITE S-WT 8723 apresentou os resultados mais baixos de turbidez e esse resultado foi encontrado após a passagem pelo filtro onde apresentou um valor de 99,5% de eficiência de remoção, em contrapartida o coagulante *Moringa oleifera* já demonstrava valores baixos a partir do tempo 13 minutos e ao final do processo alcançou 99,4% de eficiência de remoção.

Para o ensaio 2, que entre os três ensaios, tem o menor valor bruto de turbidez, o coagulante BONDERITE S-WT 8723 alcançou o melhor resultado no tempo 33 (com 99,3% de remoção), porém após a filtração esse valor diminuiu para 94,4% podendo ser explicado pela saturação do filtro, que pode ter adicionado matéria orgânica à amostra. O sulfato de alumínio obteve o melhor resultado dentre os três coagulantes após a filtração onde atingiu 97,7% de remoção, já a *Moringa oleifera* atingiu 89% de remoção ao final do processo. Em seu estudo sobre filtração direta, Di Bernardo (2003) afirma que os valores obtidos para remoção de turbidez são bastante satisfatórios, permanecendo acima de 82%.

O ensaio 3, obteve os menores valores de turbidez quando comparados com os outros ensaios, atingindo valores de remoção de 88,0% e 83,5% para o BONDERITE S-WT 8723 e *Moringa oleifera*.

Por meio da Resolução N°357 de 2005 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dispõe sobre a classificação dos corpos de águas e diretrizes ambientais para seu enquadramento e estabelece padrões e condições de lançamento de efluente. Para os corpos de água de classe 1 o valor máximo é de 40 UNT, e os corpos de águas de classe 2 e 3 podem apresentar turbidez de até 100 UNT.

Considerando um corpo hídrico de Classe 1, somente o efluente do ensaio 3 não estaria em conformidade com a legislação, pois atingiu valores acima de 40 UNT, o mesmo se lançado em corpos hídricos com o enquadramento de Classe 2 ou 3 (valores acima de 100NTU) atendem a legislação.

As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam os resultados de análise de variância. Quando realizado o teste estatístico para ambos os parâmetros os resultados encontrados indicam que os coagulantes utilizados no experimento não são estatisticamente iguais entre si, pois os valores de FC encontrado foram maiores que os valores de F crítico tabelado.

Tabela 9: Resultados da Análise de Variância para a turbidez do efluente do ensaio 1.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	1	12635.4	12635.4	14.303	0.001171	4.351244
Tempo	4	76278.26	19069.57	21.587	5.04E-07	2.866081
Total	5	88913.66				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 10: Resultados da Análise de Variância para a turbidez do efluente do ensaio 2

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	2	38132.38	19066.19	669.046	2.16636E-15	3.68232
Tempo	4	36895.2	9223.799	323.6696	2.32786E-14	3.055568
Total	6	75027.57				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 11: Resultados da Análise de Variância para a turbidez do efluente do ensaio 3.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	1	2815.8018	2815.802	7.258965	0.02253482	4.964602
Tempo	4	137616.01	34404	88.69142	9.07913E-08	3.478049
Total	5	140431.81				

Fonte: Autoria própria (2019)

Nas Tabelas 9, 10 e 11 observa-se que o p-valor para os três ensaios é menor que 0,05, indicando que a interação entre os fatores Tempo e Coagulante é significativa a 5% de significância, porém não há a necessidade do teste Tukey para os ensaios 1 e 3, já que são apenas dois coagulantes em comparação.

Na Tabela 12 está representado o Teste de Tukey para o ensaio 2, identificando o tratamento que apresenta diferença significativa.

Tabela 12 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro turbidez.

Tratamentos	A	B	C
A	-	0.04069	0.006744
B	4.373	-	0.9189
C	5.543	1.17	-

(A) *Moringa oleifera* (B) BONDERITE S-WT 8723 (C) Sulfato de Alumínio

Fonte: Autoria própria (2019)

Observando os valores acima da diagonal principal na Tabela 12 identifica-se a presença de diferenças significativas entre os tratamentos representados pelos valores menores que 0,05, sendo eles os coagulantes *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio pois que apresentaram diferença significativa dentro deste parâmetro.

5.2.3 pH

O Quadro 7 apresenta os resultados do efluente para o parâmetro pH para os 3 ensaios.

Quadro 7: Resultados para o parâmetro pH

pH						
Ensaio	Coagulante	Tempo (minutos)				Filtro
		3	13	23	33	
1	BONDERITE S-WT 8723	3,69	3,65	3,79	3,77	6,76
	<i>Moringa oleifera</i>	4,24	3,58	3,73	3,71	6,61
2	BONDERITE S-WT 8723	7,53	9,18	9,13	9,14	8,99
	<i>Moringa oleifera</i>	9,06	9,20	9,13	9,17	8,94
	Sulfato de alumínio	9,04	9,09	9,09	9,18	9,08
3	BONDERITE S-WT 8723	3,10	3,08	3,04	3,11	4,49
	<i>Moringa oleifera</i>	3,06	3,08	3,02	3,03	4,34

Fonte: Autoria própria (2019)

Os limites de pH segundo a legislação CONAMA 357 (BRASIL, 2005) é de 5 a 9, esses valores foram alcançados no ensaio 1 apenas após o processo de filtração por ambos os coagulantes com destaque para o BONDERITE S-WT 8723 que teve o valor mais próximo de 7 após a passagem pelo filtro. Para o ensaio 2, o sulfato de alumínio ficou dentro dos valores limites segundo a legislação. O ensaio 3 não obteve pH neutro, observando-se que o bruto desse ensaio tinha o valor mais baixo dentre os três ensaios, sendo necessário ao efluente com essas características, uma neutralização antes do ensaio, ou seja, uma correção no pH.

Verifica-se que o pH do efluente tratado não sofreu alterações significativas nas condições estudadas de concentração, e nos diferentes tempos de sedimentação, mas só após a passagem pelo filtro podendo-se perceber uma melhora significativa do pH no ensaio 1. Segundo Vaz (2009), o pH é um importante parâmetro no processo de coagulação/floculação, pois quando o valor do pH é maior do que ao pH original do efluente, a remoção da cor ocorre também pela precipitação. Vaz (2009) encontrou valores de pH de 4,58 a 6,45, já Alves (2012) obteve 5,85 a 5,93.

As Tabelas 13, 14 e 15 apresentam os resultados de análise de variância. Quando realizado o teste estatístico para ambos os parâmetros os resultados encontrados indicam que os coagulantes utilizados no experimento não são estatisticamente iguais entre si, pois os valores de FC encontrado foram maiores que os valores de F crítico tabelado e os valores de P maiores que 0,05.

Tabela 13: Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ensaio 1.

<i>Fonte da variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>FC</i>	<i>p-valor</i>	<i>F crítico</i>
Coagulante	1	0.012813	0.012813	641282	0.071967	4.351244
Tempo	4	41.2723	10.31808	113.7688	1.85E-13	2.866081
Total	5	41.28511				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 14: Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ensaio 2.

<i>Fonte da variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>FC</i>	<i>p-valor</i>	<i>F crítico</i>
Coagulante	2	419030423	2.1E+08	10273.71	2.97E-24	3.68232
Tempo	4	57583664.73	14395916	705.9128	7.08E-17	3.055568
Total	6	476614087.7				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 15: Resultados da Análise de Variância para o pH do efluente do ensaio 3.

<i>Fonte da variação</i>	<i>GL</i>	<i>SQ</i>	<i>QM</i>	<i>FC</i>	<i>p-valor</i>	<i>F crítico</i>
Coagulante	1	0.016245	0.016245	11.01356	0.007765	4.964603
Tempo	4	5.82233	1.455583	986.8356	6.17E-13	3.47805
Total	5	5.838575				

Fonte: Autoria própria (2019)

Nas Tabelas 13, 14 e 15, observa-se que o p-valor para os três ensaios é menor que 0,05, indicando que a interação entre os fatores Tempo e Coagulante é significativa a 5% de significância, porém não há a necessidade do teste Tukey para os ensaios 1 e 3, já que são apenas dois coagulantes em comparação.

Na Tabela 16 está representado o Teste de Tukey para o ensaio 2, identificando o tratamento que apresenta diferença significativa.

Tabela 16 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro pH.

Tratamentos	A	B	C
A	-	0.9593	0.04538
B	0.9565	-	0.9975
C	1.409	0.4529	-

(A) *Moringa oleifera* (B) BONDERITE S-WT 8723 (C) Sulfato de Alumínio

Fonte: Autoria própria (2019)

Observando os valores acima da diagonal principal na Tabela 16 identifica-se a presença de diferenças significativas entre o tratamento representado pelo valor menor que 0,05, tendo o coagulante sulfato de alumínio apresentado diferença significativa entre os demais coagulantes.

5.2.4. Condutividade elétrica

O Quadro 8 apresenta os resultados do efluente para o parâmetro condutividade elétrica para os ensaios 1 e 2. Não foi realizado ensaio de condutividade elétrica para o ensaio 3 devido a falta de bateria do aparelho.

Quadro 8: Resultados para o parâmetro condutividade elétrica.

Condutividade elétrica (mSm ⁻¹)						
Ensaio	Coagulante	Tempo (minutos)				Filtro
		3	13	23	33	
1	BONDERITE S-WT 8723	9,91	10,43	10,27	10,20	0,11
	<i>Moringa oleifera</i>	10,81	10,73	10,23	10,70	0,13
2	BONDERITE S-WT 8723	11,50	12,09	12,01	12,00	7,24
	<i>Moringa oleifera</i>	12,02	12,38	12,33	12,33	8,29
	Sulfato de alumínio	11,76	12,03	12,05	12,02	8,24

Fonte: Autoria própria (2019)

No ensaio 1 pode ser constatado a grande eficiência do filtro de areia que reduziu a condutividade em aproximadamente 100% para ambos coagulantes. Constatou-se também a pouca influência nos resultados dos coagulantes em ambos os ensaios, para todos os tempos, notando-se que a partir do primeiro tempo o coagulante *Moringa oleifera* agregou condutividade à amostra, isso devido a solução salina em que o coagulante foi preparado aumentando dessa foram a quantidade de íons na amostra.

Carrara & Júnior (2000), estudando sobre a viabilidade do reuso do efluente de galvanização tratado através da coagulação/floculação com os coagulantes cloreto férrico e hidróxido de sódio, afirmaram que as amostras tratadas nos ensaios com valores de condutividade variando entre 1,8 e 2,0 mScm⁻¹, apresentaram elevada salinidade e não poderiam ser utilizadas em sistemas de torres de refrigeração e caldeiras, pois, a priori, podem ocasionar problemas de corrosão, porém esse efluente tratado, pode ser utilizado para limpezas em geral e em descargas de banheiros.

Nas Tabelas 17 e 18, observa-se que o p-valor para os três ensaios é menor que 0,05, indicando que a interação entre os fatores Tempo e Coagulante é significativa a 5% de significância, porém não há a necessidade do teste Tukey para os ensaios 1 e 3, já que são apenas dois coagulantes em comparação

Na Tabela 17 está representado o Teste de Tukey para o ensaio 2, identificando o tratamento que apresenta diferença significativa.

Tabela 17: Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica do efluente do ensaio 1.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	1	0.840013	0.840013	8.583827	0.008283	4.351244
Tempo	4	508.4267	127.1067	1298.862	7.54E-24	2.866081
Total	5	509.2667				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 18: Resultados da Análise de Variância para a condutividade elétrica do efluente do ensaio 2.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	2	1.32122	0.66061	12.45572	0.0006493	3.68232
Tempo	4	81.87305	20.46826	385.9266	6.3198E-15	3.055568
Total	6	83.19427				

Fonte: Autoria própria (2019)

De acordo com as legislações não há padrões de lançamento para a condutividade elétrica, porém esse parâmetro pode ser relacionado com a concentração de sólidos totais dissolvidos, o que facilita na avaliação dos problemas que podem ser causados ao despejar efluentes com carga alta de condutividade elétrica.

De acordo com CETESB (2014) a condutividade elétrica é a medida da capacidade da água conduzir eletricidade, que indica a presença de compostos ionizáveis nos ambientes aquáticos. Esse fator, que depende das concentrações iônicas e da temperatura, indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes.

Na Tabela 19 está representado o Teste de Tukey para o ensaio 2, identificando o tratamento que apresenta diferença significativa.

Tabela 19 – Teste de Tukey com significância de 5% para o parâmetro condutividade elétrica.

Tratamentos	A	B	C
A	-	0.1028	0.01269
B	3.716	-	1
C	3.557	3.557	-

(A) *Moringa oleifera* (B) BONDERITE S-WT 8723 (C) Sulfato de Alumínio

Observando os valores acima da diagonal principal na Tabela 19 identifica-se a presença de diferenças significativas entre o tratamento representado pelo valor menor que 0,05, sendo ele o coagulante sulfato de alumínio o que apresenta diferença significativa entre os coagulantes analisados.

5.2.5 Sólidos totais dissolvidos

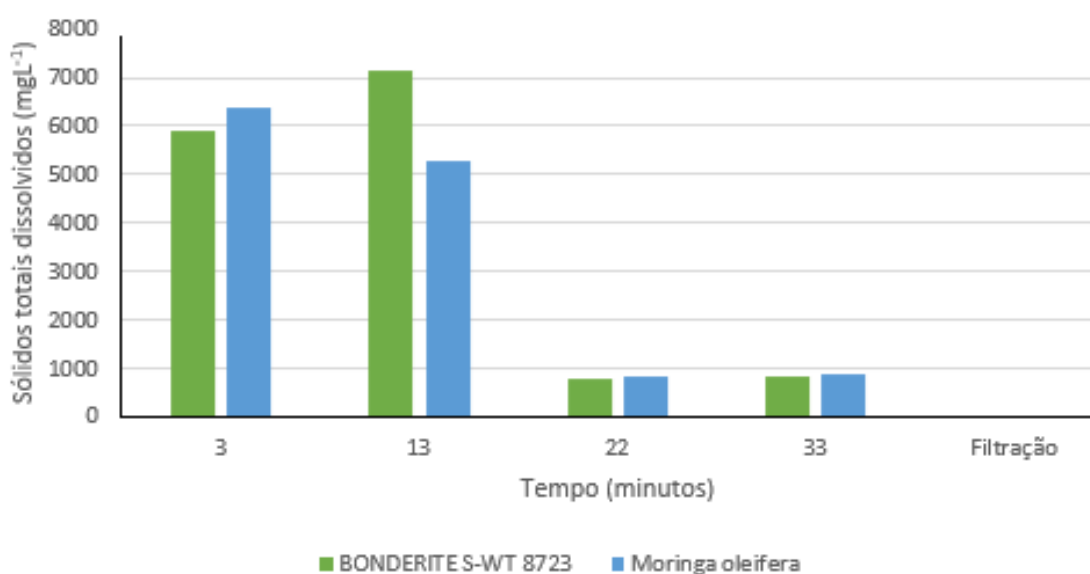
O Quadro 9 apresenta os resultados do efluente para o parâmetro sólidos totais dissolvidos para os 3 ensaios e as Figuras 15 e 16 representam os resultados da eficiência de remoção. Não foi realizado ensaio de determinação de sólidos totais dissolvidos para o ensaio 2 devido a não presença do instrumento no laboratório durante alguns dias.

Quadro 9: Resultados para o parâmetro sólidos totais dissolvidos.

Sólidos totais dissolvidos (mgL ⁻¹)						
Ensaio	Coagulante	Tempo (minutos)				Filtro
		3	13	23	33	
1	BONDERITE S-WT 8723	5890,00	7146,00	790,00	827,00	0,18
	<i>Moringa oleifera</i>	6383,33	5267,33	826,67	888,33	0,23
3	BONDERITE S-WT 8723	7960,00	8620,00	9105,00	9215,00	3515,00
	<i>Moringa oleifera</i>	8485,00	9240,00	9425,00	9515,00	4180,00

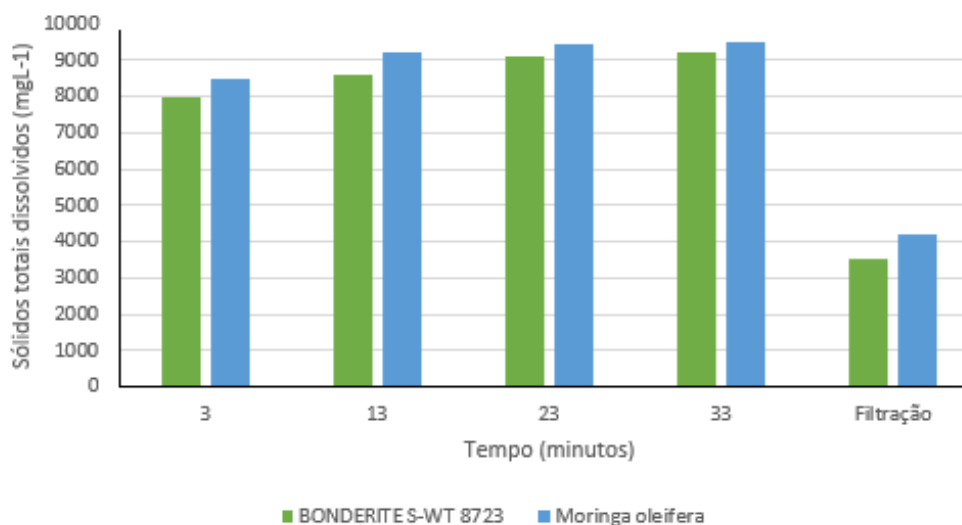
Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 15: Resultado da Sólidos totais dissolvidos do ensaio 1.



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 16: Resultado da Sólidos totais dissolvidos do ensaio 3.



Fonte: Autoria própria (2019)

Os resíduos sólidos presentes no efluente são oriundos dos processos de galvanização aos quais são submetidas às peças, nessas etapas são removidos resíduos de tinta e solda, camadas de óxidos, poeira, ferrugem, e qualquer outra espécie de impurezas que possam estar aderidas às peças (VAZ, 2009).

A quantidade de sólidos totais dissolvidos encontrada no ensaio 3 era 1,5 vezes maior que para o ensaio 1, os resultados após a passagem pelo filtro demonstraram que o ensaio 1 teve uma eficiência muito maior em relação ao ensaio 3, chegando ao valor de $0,18 \text{ mgL}^{-1}$ para o coagulante BONDERITE S-WT 8723 e $0,23 \text{ mgL}^{-1}$ para o coagulante *Moringa oleifera*, enquanto que para o ensaio 3 os resultados obtidos para esses coagulantes foram $3515,0 \text{ mgL}^{-1}$ e $4180,0 \text{ mgL}^{-1}$, respectivamente. Observa-se no ensaio 3, que o coagulante *Moringa oleifera* agregou desde o primeiro tempo uma quantidade de quase 1000 mgL^{-1} , diferentemente do ensaio 1 que os valores foram diminuindo.

Os coagulantes se mostraram eficientes no ensaio 1 onde a remoção da quantidade de sólidos totais dissolvidos alcançou 100% para ambos coagulantes, já para o ensaio 3 não houve grande eficiência, já que para o coagulante *Moringa oleifera* a porcentagem para a remoção da quantidade de sólidos totais dissolvidos foi de 44,34% e para o coagulante BONDERITE S-WT 8723 foi de 55,19%.

Isso pode ser explicado pela maior liberação de matéria orgânica no caso do ensaio 3, onde as características do efluente bruto podem ter influenciado.

A Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011), estabelece para o lançamento de efluente em rios de água doce Classe 2, o valor máximo de 500 mgL⁻¹ para o parâmetro sólidos dissolvidos, apenas o ensaio 1 está dentro do limite.

Nas Tabelas 20 e 21 observa-se que o p-valor para os três ensaios é menor que 0,05, indicando que a interação entre os fatores Tempo e Coagulante é significativa a 5% de significância, porém não há a necessidade do teste Tukey para os ensaios 1 e 3, já que são apenas dois coagulantes em comparação.

Tabela 20: Resultados da Análise de Variância para os sólidos totais dissolvidos para o efluente do ensaio 1.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	1	497641.984	497642	0.310796	0.0483378	4.351244
Tempo	4	229915381.	57478845	35.89773	7.29E-09	2.866081
Total	5	230413023.				

Fonte: Autoria própria (2019)

Tabela 21: Resultados da Análise de Variância para os sólidos totais dissolvidos para o efluente do ensaio 3.

Fonte da variação	GL	SQ	QM	FC	p-valor	F crítico
Coagulante	1	1180980	1180980	38.60673	9.96897E-05	4.96460274
Tempo	4	86374930	21593732.5	705.9082	3.27457E-12	3.47804969
Total	5	87555910				

Fonte: Autoria própria (2019)

6 CONCLUSÃO

Com os resultados encontrados e apresentados nesse trabalho foi possível concluir que no tratamento de efluente de galvanoplastia, utilizando os processos de coagulação, sedimentação, floculação e filtração, pode-se utilizar o coagulante orgânico *Moringa oleifera*, visto a redução na quantidade de cor aparente, turbidez, sólidos totais dissolvidos, a neutralização do pH e a diminuição na condutividade elétrica do efluente, sendo que o uso desse coagulante pode ser um tratamento alternativo a fim de apresentar menores danos ao meio ambiente.

O sistema de filtração se mostrou muito eficiente, porém pode não ter fácil aplicação em escala industrial, visto que há a necessidade de frequência na lavagem e troca dos leitos filtrantes.

No geral, os resultados obtidos com o uso dos coagulantes inorgânicos BONDERITE S-WT 8723, já utilizado na indústria, e sulfato de alumínio também foram satisfatórios obtendo-se destaque ao sulfato de alumínio de acordo com as análises estatísticas.

A partir do estudo recomenda-se a aplicação do tratamento com o coagulante *Moringa oleifera*, já que esse coagulante orgânico obteve resultados semelhantes ao inorgânico BONDERITE S-WT 8723, e possui a vantagem de que o lodo formado ao final do processo é biodegradável.

REFERÊNCIAS

ALFACONNECTION. Disponível em: <<http://www.alfaconnection.pro.br/images/FQM030205a.gif>>. Acesso em: 10 de maio de 2019.

ALVES, A. C. D. **Estudo da eficiência do processo de coagulação/floculação e do processo combinado de coagulação/floculação/adsorção para tratamento de águas residuárias de galvanoplastia utilizando moringa oleífera**. 86f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) - Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná, Toledo, 2012.

APHA. **Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater**. 22nd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2012.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**, Bookman, Porto Alegre, 4ª ed., 844p. 2011.

BARROS, S. S. **GALVANOPLASTIA: CONTROLE AMBIENTAL NO BRASIL E NA ALEMANHA, SUAS BASES LEGAIS E TECNOLÓGICAS**. 2016. 136 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

BERNARDES, A. M.; NÍQUEL, C. L. V.; SCHIANETZ, K. **Manual de Orientações Básicas para a Minimização de Efluentes e Resíduos na Indústria Galvânica**. Porto Alegre: SENAI, 2000. 63 p.

BHATIA, S.; OTHAMAN, Z.; & AHMAD, A. B. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using *Moringa oleifera* seeds as natural coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 145, p. 120–126, 2007.

BONGIOVANI, M. C. et al. **Utilização do processo combinado coagulação/floculação/uf como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a *Moringa oleifera* lam**. Periódico: IX Fórum Ambiental da Alta Paulista. São Paulo, v. 9, n. 11, p. 65-76, 2013.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1993.

BRANCO, S. M. Água e o homem. **Hidrologia Ambiental**, São Paulo: Edusp, v. 3, 411 p. 1991.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União. Poder Executivo**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 10 de abril de 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União. Poder Executivo**, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 10 de abril de 2019.

BROWN, L.S.; HOLME, T.A. **Química Geral Aplicada à Engenharia**. 1ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

BUZZONI, H.A. **Galvanoplastia**. 2ª ed. São Paulo: Ícone Editora, 1991.

CARDOSO, K. C. **Estudo do processo de coagulação-floculação por meio da *Moringa oleifera* LAM para obtenção de água potável**, Dissertação de Mestrado. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2007.

CARDOSO, K. C. **Estudo do processo de coagulação-floculação por meio da *Moringa oleifera* LAM para obtenção de água potável**, Dissertação de Mestrado. Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, 2007.

CARRARA, S. M. C. M.; JÚNIOR, R. B. **Estudos de Viabilidade do Reuso de Efluentes Líquidos Gerados em Processos de Galvanoplastia por Tratamento Físico-Químico**, 1997. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

CARTWRIGHT, P. Pollution prevention drives membrane technologies. **Chemical Engineering**, v.101, nº9, p.84-87, Sep. 1994.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008.

CETESB, **Águas superficiais – Variáveis de qualidade das águas**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2014. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp->

content/uploads/sites/12/2018/06/Relat%C3%B3rio-de-Qualidade-das-%C3%81guas-Interiores-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2017.pdf. Acesso em 04/11/2019.

COLARES, C. J. G.; JÚNIOR, E. J. S.; COLARES, E. C. G.; COSTA, O. S. **Estudo de caso do tratamento de efluentes líquidos gerados no processo de galvanoplastia.** Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação - Universidade Estadual de Goiás, 2010.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Galvânicas: práticas operacionais recomendáveis,** 2016.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE (CPRH). **Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização: Tipologia Galvânica.** Pernambuco: Projeto CPRH/GTZ, 2001.

DA SILVA, F. J. A.; SOUZA, L. M. M.; MAGALHÃES, S. L. **Uso potencial de biopolímeros de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo.** In: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. Joinville - SC.

DI BERNARDO, LUIZ; DANTAS, ANGELA D. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água.** 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005.

FORNARI, M. M. T. **Aplicação da Técnica de Eletro-Floculação no Tratamento de Efluentes de Curtume.** 2007. 112 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná.

GAUTO, M.; ROSA, G. **Química Industrial.** Porto Alegre: Bookman, 2013.

GENTIL, V. **Corrosão.** Livros Técnicos e Científicos Editora SA, Rio de Janeiro, 2003.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano: v. 11,** Rio de Janeiro, 2006.

HOINKIS, J. **Chemie für Ingenieure.** Deutschland: Wiley-VCH, 2015.

IGNATOWITZ, E.; FASTERT, G. **Chemietechnik.** Deutschland: Verlag Europa-Lehrmittel, 2015.

INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS (ICZ). **Manual Técnico do Aço Inoxidável,** 2011. Disponível em: < <https://www.kloecknermetals.com.br/pdf/3.pdf>> Acesso em: 10 maio de 2019.

IOSHIMURA, R. A. **Estudo da eficiência granulométrica no processo de filtração direta com aplicação de coagulantes no tratamento da água.** 2016. 63p. (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

JAHN, S. A. A. **Monitored Water Coagulation with Moringa Seeds in Village Households.** GTZ: Gate, n. 1/89 (May), p. 40-41, 1989

JANZ, F. J. L. **Coagulantes Orgânicos E Sulfato De Alumínio Aplicados No Tratamento De Efluente De Indústria Cervejeira.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

KATAYON, S. et al. **Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation.** Bioresource Technology, v. 97. p. 1455-1460, 2006.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 494 p., 2010.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. **Study of the effect of saline solution on the extration of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment.** Water Air Soil Pollution, v.211, p.409-415, 2010.

MILANEZ, K. W. et al. **Caracterização de pigmentos inorgânicos à base de Fe, Zn e Cr utilizando resíduo de galvanoplastia como matéria-prima.** Cerâmica v.51 2005.

MUYIBI, S. A.; EVISON, L. M. *Moringa oleifera* seeds for softening hardwater. **Water Research**, v.29, n.12, p.1099-1104, 1995.

NDABIGENGESERE A.; NARASIAH, S. K; TALBOT B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. **Water Research**, v.29, n.2, p.703-710, 1995.

NUNES, J.A. **Tratamento Físico-químico de Águas Residuárias Industriais.** 4 Ed., Aracajú. J. Andrade Ltda, 2004. 297 p.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, MITSUMASA. **Coagulation mechanism of salt solution-extracted active component in *Moringa oleifera* seeds.** Water Rsearch, v. 35, n. 3, p. 830-834, 2001

PACHECO, C. E. M. **Projeto piloto de prevenção à poluição em indústrias de bijuterias no município de Limeira: casos de sucesso.** São Paulo, 32 p. 2002.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor e turbidez elevada.** São Carlos. 2001, 216f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – SP, 2001.

PEREIRA, F. V. **Remoção de íons zinco (ii) de efluentes derivados de processos de galvanoplastia utilizando rejeitos de fibras vegetais modificadas quimicamente.** 2008.113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

PIVELI, R. P. **Tratamento de Efluentes de Galvanoplastias.** São Paulo: Curso de especialização em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental, Núcleo de Informações em Saúde Ambiental da Universidade de São Paulo, 1999.

RIBEIRO, D.F. K, RODRIGUES, S. Uso de Zeólitas na Redução do Teor do Cátion Níquel de Efluentes Galvânicos. **Cerâmica Industrial**, v 15 nº (5-6) Dezembro, 2010.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água.** São Paulo: Editora Edgard Blücher LTD, 332 p., 1991

ROCHA, L. C. P. **Viabilidade de reúso de efluente tratado em indústria de galvanoplastia.** 2019. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2019.

SANTOS F. J. D.; SANTA RITA, E.S. **Gerenciamento do Resíduo Gerado Na Clarificação de água da RLAM.** Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica, 2002.

SANTOS, F. A. **Uso das escamas da pinha da araucaria angustifolia para biossorção de metais pesados de efluente industrial de galvanoplastia.** Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais), 146f. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, dezembro, 2007.

SANTOS, H. R. **Aplicação de coagulantes no afluente de reator anaeróbio de leite expandido alimentado com esgoto doméstico.** 2001. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SANTOS, K. C. R. **Aplicação de resinas comerciais na remoção do cobre presente em lodos galvânicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UFRJ, 2008.

SARKAR, B.; CHAKRABARTI, P. P.; VIJAYKUMAR, A.; KALE, V. **Wastewater treatment in dairy industries — possibility of reuse**. Desalination, n. 195, p. 141-152, 2006.

SCHIMITT, D. M. F. **Tratamento de águas residuárias da indústria de laticínios pelos processos combinados coagulação/floculação/adsorção/ultrafiltração utilizando a semente de *Moringa oleifera* como coagulante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). 52 p. Toledo: Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2011.

SESI – **Manual de Segurança e Saúde no Trabalho**. Gerência de Segurança e Saúde no Trabalho – São Paulo, 2007.

SILLOS, R. M. **Manual Técnico: Tratamento de Superfícies**. 3ª Ed. São Bernardo do Campo: SurTec do Brasil, 2009.

SILVA, C. S. **Um Estudo Crítico sobre a Saúde dos Trabalhadores de Galvânicas, por meio das Relações entre as Avaliações Ambientais, Biológicas e Otorrinolaringológicas**. São Paulo: Fundacentro, 1999.

SILVA, T. E. M.; SILVA, L. F.; LIMA, R. B. C.; LEITE, Y. F. M. M. **Avaliação do uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de galvanoplastia: um estudo de caso**. 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química. 2015.

SILVA, T. S. S. **Estudo da Tratabilidade Físico-Química com Uso de Taninos Vegetais em Água de Abastecimento e Esgoto**. Tese (Mestrado). Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro – RJ, 1999.

SIMAS, R. **Levantamento da Geração de Resíduos Galvânicos e Minimização de Efluentes Contendo Cianeto**. Tese (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba – PR, 2007.

TELLES, D. D.; COSTA, R. P., **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2ª ed. São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda 2010.

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) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

VAZ, L. G. L. **Processo de coagulação/floculação no tratamento de efluentes de galvanoplastia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). 98 p. Toledo: Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2009.

VEIT, M.T. **Estimação de parâmetros de transferência de massa para bioissorção de cromo (III) e Níquel (II) num sistema contínuo em coluna de leito fixo pela biomassa de alga marinha Sargassum filipendula.** Tese (Doutorado). UEM - Universidade Estadual de Maringá, 2006.

VIJAYARAGHAVAN, K.; JEGAN, J.; PALANIVELU, K. **Biosorption of cobalt (II) and nickel (II) by seaweeds: batch and column studies.** *Separation and Purification Technology*, v.44, p. 53-59. 2005.

ZEMPULSKI, L. N.; ZEMPULSKI, M. F. S. **Dossiê Técnico: Galvanização Eletrolítica.** Curitiba: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007.