



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA INDUSTRIAL**

TÂNIA MARIA DO NASCIMENTO

**PROCESSO DE ELETRODEPOSIÇÃO
DE ZINCO ISENTO DE CIANETO EM PEÇAS METÁLICAS**

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

TÂNIA MARIA DO NASCIMENTO

**PROCESSO DE ELETRODEPOSIÇÃO
DE ZINCO EM ISENTO DE CIANETO EM PEÇAS METÁLICAS**

Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso a coordenação de Química da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Orientadora: Profa. Dra. Márcia Ramos Luiz

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

N244p Nascimento, Tânia Maria do.
Processo de eletrodeposição de zinco isento de cianeto em peças metálicas [manuscrito] : / Tania Maria do Nascimento. - 2018.
27 p.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.

"Orientação : Profa. Dra. Marcia Ramos Luiz, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Galvanoplastia. 2. Eletrodeposição de zinco. 3. Impactos ambientais.

21. ed. CDD 660

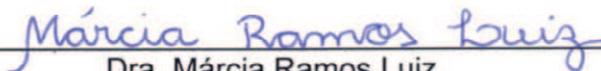
TÂNIA MARIA DO NASCIMENTO

**PROCESSO DE ELETRODEPOSIÇÃO
DE ZINCO ISENTO DE CIANETO EM PEÇAS METÁLICAS**

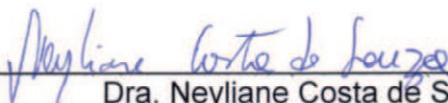
Artigo apresentado como Trabalho de Conclusão de Curso ao Departamento de Química da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Química Industrial.

Aprovado em: 27/06/2018.

BANCA EXAMINADORA



Dra. Márcia Ramos Luiz
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Dra. Neyliane Costa de Souza
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



MSc. Adna de Alcântara e Souza Bandeira
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

**CAMPINA GRANDE – PB
2018**

AGRADECIMENTOS

A Deus por não desistir de mim e tornar possível a realização de mais um sonho.

A minha mãe Selma e meu pai Orlando, por todo amor, apoio e entendimento, estando sempre ao meu lado independente das minhas escolhas.

Aos meus irmãos Tatiane e Otoniel, por toda amizade, carinho, paciência e cumplicidade. Eu não sei o que seria da minha vida sem vocês!

A minha querida professora orientadora Márcia Ramos, por toda paciência e dedicação, além de todas as oportunidades e ensinamentos que me ajudaram a evoluir durante minha jornada acadêmica.

Agradeço a banca pelas contribuições apresentadas.

Aos professores do Curso de Química Industrial da UEPB, por toda contribuição, através das disciplinas e debates, durante minha trajetória na graduação.

Aos colegas de classe, pelos momentos de amizade e apoio.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
2.1	PRINCÍPIO DA CORROSÃO DOS METAIS	1
2.2	PRINCIPIO QUE REGE A GALVANOPLASTIA.....	2
2.3	GALVANOPLASTIA NO BRASIL	3
2.4	USO DO CIANETO NA GALVANOPLASTIA.....	4
2.5	UTILIZAÇÃO DO ZINCO NA GALVANOPLASTIA	5
2.5.1	Banhos de Zinco sem Cianeto.....	5
2.5.2	Banhos de Zinco com Cianeto	6
2.6	PROCESSAMENTO DE ELETRODEPOSIÇÃO DE ZINCO	7
2.6.1	Desengraxante Químico.....	8
2.6.2	Decapagem em Ácido Clorídrico.....	9
2.6.3	Neutralização com Hidróxido de Sódio.....	9
2.6.4	Eletrodeposição de Zinco.....	9
2.6.5	Ativação Ácida.....	11
2.6.6	Passivação	11
2.6.7	Secagem	11
2.6.8	Lavagens	12
2.7	IMPACTOS AMBIENTAIS DA GALVANOPLASTIA	12
3	METODOLOGIA.....	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
	REFERÊNCIAS	19

RESUMO

A galvanoplastia é um tipo de tratamento de superfície que consiste em depositar um metal sobre outro através da redução eletrolítica. Este tratamento é feito para proteção da superfície, melhorando sua condutividade e capacidade para ser soldada. A eletroformação é todo processo de galvanoplastia, onde os metais são revestidos por outros metais mais nobres, usado para proteger da corrosão. A deposição de um metal sobre a superfície de uma peça metálica proporciona uma boa durabilidade e maior resistência da peça metálica. Essa deposição ocorre através de banhos, onde as peças são submetidas a um ou mais banhos, que podem ser de cromo, níquel, ouro, prata, cobre, zinco ou estanho. Este trabalho tem como objetivo apresentar e descrever as etapas do processo galvanoplástico de zinco alcalino sem cianeto com vistas á literatura, que consiste no processo de busca, análise e descrição fundamentada em livros, artigos, trabalho de conclusão de curso, que permitiram verificar a importância desse assunto. O processo de galvanoplastia é de grande importância, uma vez, que o metal depositado protege as peças metálicas contra a corrosão aumentando o tempo útil da peça galvanizada. Usa-se preferencialmente o zinco, pois uma de suas propriedades mais importantes é proteger o ferro e aço da corrosão, como também o valor do processamento utilizando-se zinco é bem mais barato que se utilizando outros metais.

Palavras chave: galvanoplastia, eletrodeposição de zinco, corrosão

1 INTRODUÇÃO

A galvanoplastia é um processo químico ou eletroquímico de deposição de uma fina camada de um metal sobre uma superfície, que pode ser metálica ou não. O objetivo deste processo é embelezar as peças e também protegê-las contra a corrosão, aumentar sua durabilidade, melhorar as propriedades superficiais e características de resistência, espessura, condutividade e capacidade de estampar. Esta é empregada para definir a redução eletrolítica de um dado elemento, inicialmente na forma iônica, na superfície de um substrato metálico ou de natureza condutora, como resultado da migração de íons do metal de interesse em solução aquosa, sob a ação de uma corrente elétrica (SILVA; AFONSO; SOBRAL, 2008).

Na eletrodeposição utiliza-se uma célula eletrolítica contendo um eletrólito, constituído de sais iônicos do metal a ser depositado, também conhecido como banho. O banho é o processo na qual uma peça recebe o revestimento de um metal ou de verniz. Essa deposição é feita delicadamente de modo a não alterar nenhuma textura ou detalhe. Têm-se dois tipos de banhos: os eletrolíticos e os químicos. Os

banhos mais utilizados em eletrodeposição são os inorgânicos, como os de cobre, cromo, estanho, níquel, zinco, bem como os de metais nobres e ligas metálicas (LISBOA; BARINB, 2009).

A galvanoplastia é aplicada em utensílios domésticos, artigos de escritório, artigos cirúrgicos e odontológicos, na arquitetura e construção civil, nas indústrias automobilísticas, naval e aeronáutica, em objetos pessoais (joias, bijuterias, fivelas de cintos, parte de calçados, entre outros) ou na obtenção de subcamadas para posteriores deposições de outros metais (WATANABE; LIMA-NETO, 2007).

Na indústria metalúrgica, a matéria prima passa por várias etapas desde sua transformação até a eletrodeposição do metal. Esses tipos de indústrias atuam no tratamento superficial de peças, geralmente, metálicas, que utilizam soluções químicas contendo cianetos. O cianeto, por sua vez, é um dos principais agentes poluidores dos recursos hídricos e que está presente no setor de galvanoplastia (DUTRA; SOBRAL; LEMOS, 2002).

Até o início da década de 90, a maioria dos processos de obtenção galvânica dos revestimentos de zinco fazia uso de banhos alcalinos contendo cianetos. A partir de então, em função das crescentes exigências e regulamentações governamentais, tem-se procurado substituir estes banhos por alternativas capazes de minimizar os impactos ambientais e uma dessas alternativas é fazer o uso de banhos químicos alcalinos sem cianetos (SILVA; AFONSO; SOBRAL, 2008).

O objetivo deste trabalho é descrever e discutir o processamento de eletrodeposição do Zinco em um banho alcalino livre de cianeto em peças metálicas. Como também discutir os impactos ambientais causados pela eletrodeposição, visto que nessas atividades de galvanoplastia geram quantidades significativas de efluentes líquidos com elevada carga tóxica, constituída de vários metais (cobre, cromo, estanho, níquel, zinco, dentre outros) e cianetos oriundos dos banhos de eletrodeposição e tanques de lavagem sendo estes, os principais responsáveis pelo elevado consumo de água e elevada quantidade de lodo. O cianeto pode ser absorvido após inalação, exposição oral ou dérmica. A absorção pulmonar é a mais eficiente, sendo os efeitos quase que imediatos e mais intensos se comparados com a via gastrointestinal. Essa substancia após absorvida, alcança rápida e uniformemente diversos tecidos e esta distribuição se dá, principalmente, através dos eritrócitos, com uma proporção consideravelmente menor sendo transportada dissolvida no plasma. (ATSDR, 2006; IPCS, 2015).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

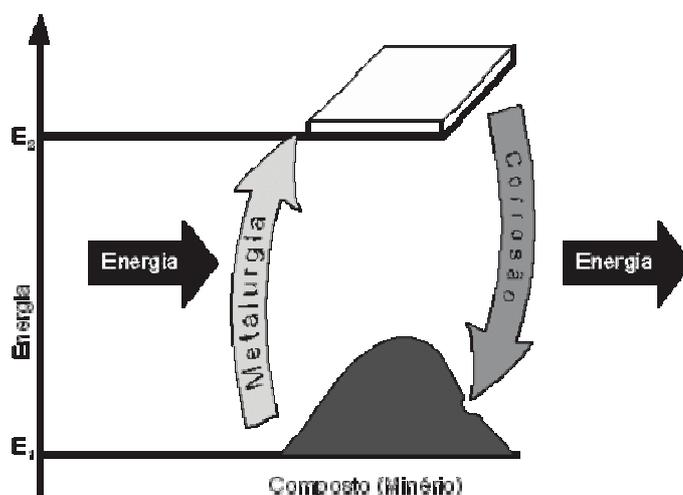
2.1 PRINCÍPIO DA CORROSÃO DOS METAIS

Pode-se definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para uso (GENTIL, 2007).

Nos processos de corrosão, os metais reagem com os elementos não metálicos presentes no meio: O_2 (Oxigênio), S (Enxofre), H_2S (Ácido Sulfúrico), CO_2 (Dióxido de carbono), entre outros, produzindo compostos semelhantes aos encontrados na natureza, dos quais foram extraídos. A oxidação, também chamada de ferrugem, quando encontrada nos metais como ferro e aço, não afeta apenas o aspecto estético do material, também altera sua resistência mecânica e vida útil (FOGAÇA, 2017).

O processo de corrosão é o inverso da metalúrgica e ocorrem reações espontâneas, pois na obtenção do metal é adicionada energia e espontaneamente ela volta combinada com liberação de energia denominado de ciclo dos metais (KRANKEL, 2014), apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Ciclo dos Metais.



FONTE: KRANKEL (2014).

Neste caso, o metal tende a reagir espontaneamente com o meio, onde perde a energia adquirida na fabricação e volta a um estado não metálico. Como os metais são encontrados na natureza em compostos, com exceção dos metais nobres, os metais reagem com líquido e gases do meio espontaneamente, pois o conteúdo energético dos compostos é menor que os metais e são estáveis na presença de condições influentes do meio e características físico-químicas do metal em conjunto é que ocorre a reação química da corrosão. A velocidade de corrosão depende da higroscopicidade dos produtos de corrosão e fatores atmosféricos (gases, poeira e poluentes), nas situações de superfícies que estão somente molhadas ou somente secas a todo tempo, são menos agravantes do que alternando de molhado e seco, pois a corrosão é acelerada quando o vento e o calor do sol secam e favorecem a corrosão (GNECCO, MARIANO e FERNANDES, 2003).

2.2 PRINCÍPIO QUE REGE A GALVANOPLASTIA

Segundo Pasqualini (2004), o princípio que rege a galvanoplastia é o da deposição metálica onde os íons metálicos que se encontram na solução eletrolítica, carregados positivamente são transportados por átomos metálicos, formando uma camada metálica sobre um objeto qualquer, podendo ocorrer com ou sem fonte de eletricidade externa:

- Com Fonte de Energia Elétrica: onde a deposição galvânica dos metais se baseiam em fenômenos eletrolíticos através de corrente contínua. Durante a eletrólise ocorrem transformações químicas nas superfícies limite eletrodo/eletrólito, que consomem (redução) ou fornecem (oxidação) elétrons. Para que as reações ocorram sempre no sentido desejado, é necessário que seja aplicada uma corrente contínua. Os fenômenos individuais no cátodo e no ânodo bem como no próprio eletrólito ocorrem simultaneamente. A corrente contínua faz com que os elétrons sejam tirados do ânodo e dados ao cátodo. A reação que ocorre no ânodo faz com que se obtenha metal em solução (ou então poderá haver outra reação que forneça elétrons). No cátodo, a reação eletroquímica fornece elétrons os quais reagem com íons metálicos contidos no eletrólito, originando átomos metálicos. (GENTIL, 2007).

- Sem Fonte de Energia Elétrica Externa: onde os elétrons necessários para a deposição metálica são produzidos diretamente na solução, através de uma reação química. A eletrodeposição permite revestimentos de camadas metálicas muito finos e relativamente livre de poros, o que torna um processo economicamente viável, já que evita o excesso de metal eletrodepositado. O material a ser revestido é colocado como cátodo de uma célula eletrolítica, sendo imerso em uma solução eletrolítica que contém sal do metal a ser depositado (GENTIL, 2007).

As características dos revestimentos obtidos por eletrodeposição tanto com fonte de energia externa ou sem fonte de energia externa destacam-se das seguintes maneiras segundo SILLOS (2012):

- Revestimentos compostos apenas do metal ou metais que se deseja depositar, uma vez que não ocorre reação entre o substrato e o metal do revestimento.
- Obtenção de camadas que abrangem desde espessuras muito baixas, quando o foco é o aspecto decorativo, até espessuras maiores com a finalidade de proteção a corrosão. Neste último, torna-se um processo econômico quando a proteção puder ser obtida com espessuras relativamente finas.
- O poder de penetração é a habilidade de um banho produzir uma camada com espessura o mais uniforme possível em superfícies de geometria complexas. Pode ser uma vantagem ou desvantagem dependendo do processo a ser analisado.
- Elevada aderência, sempre associada a um adequado pré-processamento de limpeza e preparo de substrato, além do tipo e controle de processo que será utilizado.
- Bom acabamento superficial quanto ao aspecto decorativo, brilho e nivelamento que podem ser obtidos tanto em função da formulação do banho quanto ao uso de aditivos específicos.

2.3 GALVANOPLASTIA NO BRASIL

Na metade do século XIX, com o aumento da atividade industrial surgiram novas aplicações para o tratamento de peças metálicas, para efeitos decorativos e

visando conferir requisitos da engenharia, como proteção a corrosão e aumento da resistência. No Brasil, o processo galvânico foi iniciado para atender requisitos decorativos de peças para bicicletas, arreios de cavalos, fivelas de cintos, bandejas, bules e ourivesaria. A vinda da indústria automobilística favoreceu o desenvolvimento das indústrias galvânicas, incentivando a profissionalização e introduzindo, a partir de 1920, novas tecnologias, normas e requisitos de qualidade. (SESI, 2007).

2.4 USO DO CIANETO NA GALVANOPLASTIA

O cianeto é uma substância química altamente tóxica formada por um átomo de Carbono e um átomo de Nitrogênio, constituindo a molécula ionizada CN^- , apesar de tantas formas químicas de cianeto, o íon CN^- é o agente tóxico primário. Dentre os compostos de cianeto, o ácido cianídrico (HCN) é considerado o mais perigoso do ponto de vista ocupacional por estar presente no ar e oferecer risco de inalação, pois é um líquido volátil sem cor e com odor característico de amêndoas amargas e é a principal forma na qual o cianeto está presente na atmosfera. Dentre as atividades ocupacionais passíveis de exposição, a cianeto, a galvanização é a mais citada nos estudos encontrados na literatura, embora outros segmentos industriais importantes tenham surgido como potenciais fontes de exposição. Os efeitos observados são principalmente alterações da tireoide e efeitos sobre o sistema nervoso central (ZACARIAS, 2009).

O cianeto pode ser absorvido após inalação, exposição oral ou dérmica. A absorção pulmonar é a mais eficiente, sendo os efeitos quase que imediatos e mais intensos se comparados com a via gastrointestinal. Essa substância após absorvida, alcança rápida e uniformemente diversos tecidos e esta distribuição se dá, principalmente, através dos eritrócitos, com uma proporção consideravelmente menor sendo transportada dissolvida no plasma. (ATSDR, 2006; IPCS, 2015).

Os sais de cianeto estão relacionados com os principais riscos químicos existentes na área de galvanoplastia. São utilizados no desengraxe eletrolítico, etapa que antecede a eletrodeposição de metal e faz parte do processo de limpeza para remoção de óleos, graxa e impurezas das peças. A solução cianídrica contida nos banhos de desengraxe forma, com facilidade, gás cianídrico em contato até com o gás carbônico existente no ar atmosférico que, dependendo da concentração,

pode ser letal (FIGUEREDO, 2008). Versátil íon ácido inorgânico tem a capacidade de solubilizar metais, através da complexação, pois é fácil de operar, possui baixo custo e fácil controle. Com isso o banho de zinco alcalino cianídrico ainda é muito utilizado.

2.5 UTILIZAÇÃO DO ZINCO NA GALVANOPLASTIA

A propriedade mais importante dos revestimentos com zinco é a de proteger o ferro e o aço contra a corrosão. O zinco é anódico em relação ao ferro e aço, oferecendo assim mais proteção quando aplicado em camadas finas. A proteção pelo uso de zinco consiste em combinar o zinco com o ferro, resultando no zinco como anodo e o ferro como cátodo, prevenindo assim a corrosão do ferro, uma vez que o zinco atua como uma barreira protetora evitando a entrada de água e ar atmosférico, além de sofrer corrosão antes do ferro. Este tratamento garante à peça uma maior durabilidade (ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DO ZINCO, 2000).

O zinco encontra-se na natureza, em sua maior parte, na forma de sulfeto mineral denominado blenda e esfalerita, ambos de cor caramelo e marmatita, de cor escura; sua notação científica é “Zn” e está presente na água, no solo e no ar (GRUPO INTERNACIONAL DE ESTUDOS DO CHUMBO E DO ZINCO, 2000).

Na eletrodeposição utiliza-se uma célula eletrolítica contendo um eletrólito, constituído de sais iônicos do metal a ser depositado, também conhecido como banho. Esses banhos podem ser com cianetos e sem cianetos (LISBOA; BARINB, 2009).

2.5.1 Banhos de Zinco sem Cianeto

Os banhos de zinco sem cianeto surgiram em decorrência das constantes exigências governamentais, em todo o mundo, para evitar a poluição dos rios com cianeto. Para evitar um custoso tratamento de água, as indústrias começaram reduzindo o teor do cianeto, usando banhos com médio e baixo cianeto. Tem-se agora, banhos alcalinos com zero presença de cianeto e com vantagens para a deposição de camadas. Os banhos alcalinos sem cianeto são formados através de Zincatos (ZnOH), sendo preparados com, Óxido de zinco (ZnO) e Soda Cáustica (NAOH), em proporções estabelecidas (SILVA, 2006).

Os processos que utilizam Zincatos são extremamente dependentes de aditivos. Na ausência destas substâncias, os depósitos são pulverulentos, sem adesão e de coloração escura, para a faixa de densidade decorrente normalmente usada na indústria. Outro problema do processo à base de óxido e soda, é que eles depositam outros metais, além do zinco. O processo sem cianeto apresenta deficiências, sendo inferior em três aspectos referentes ao processo de banho com cianeto, segundo (LOWENHEIM, 2007).

- Controle de banho: é um ponto crítico do processo, devido à baixa concentração de zinco necessária.
- Aditivos: desenvolvimento de substâncias que permitem a obtenção de depósitos nivelados a partir de soluções de zinco.
- Baixa tolerância à presença de contaminantes no banho: principalmente inorgânicos, com formação de depósitos escurecidos de baixo atrativo comercial.

Segundo Lowenheim (2007), as características gerais do zinco sem o cianeto estão descritas abaixo:

- Vantagens: excelente penetração e uniformidade de camadas; não apresenta corrosão branca em áreas de solda; diminui o custo do tratamento de efluentes; equipamento simples; menor custo de montagem dos banhos; depósitos altamente brilhantes e excelente cobertura.
- Desvantagens: dificuldade em zincar ferro fundido e aços temperados; não se pode usar polissulfetos para a remoção de contaminações metálicas; baixa tolerância para impurezas metálicas; camada espessa com menor ductibilidade; processo mais sensível a bolhas; o óxido de zinco e a soda cáustica necessitam um grau maior de pureza.

2.5.2 Banhos de Zinco com Cianeto

Os banhos de zinco utilizando cianeto, como processo protetivo ou decorativo, apesar de sua toxidez, ainda são muito utilizados. Segundo (LOWENHEIM, 2007), este banho difere-se do banho sem a utilização de cianeto de acordo com as características gerais apresentadas abaixo.

- Vantagens: ciclo curto de preparação do metal base; uniformidade do depósito, mesmo em camadas espessas; equipamento relativamente simples e processo facilmente controlável (LISBOA; BARINB, 2009).
- Desvantagens: baixa velocidade de eletrodeposição; alto consumo de energia em relação à baixa eficiência; dificuldades ao zincar peças de ferro fundido; alta evolução de gases tóxicos ao ambiente; alto custo de tratamento de efluentes e multas aplicadas pelos órgãos de controle ambiental.

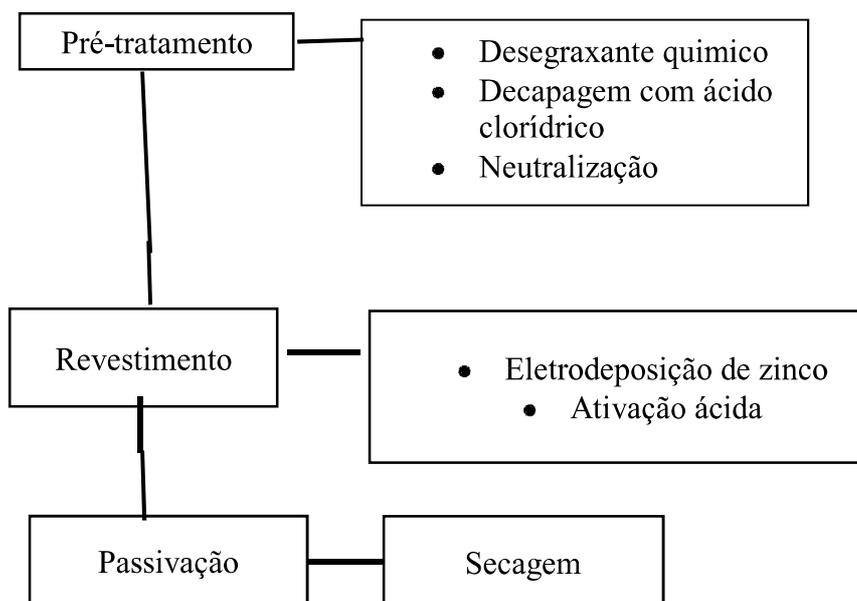
2.6 PROCESSAMENTO DE ELETRODEPOSIÇÃO DE ZINCO

O processo de eletrodeposição de zinco também chamado de zincagem, de acordo com Buzzoni (1991), é o processo no qual o metal utilizado como protetor é o zinco.

As etapas de processamento de eletrodeposição podem ser configuradas como com cianeto e sem cianeto. As etapas são: pré-tratamento, revestimento e passivação (NOGUEIRA E PASQUALLETO, 2008).

Em seguida, as peças são conduzidas seguindo para cada tanque, conforme a sequência operacional adequada, demonstrada na Figura 2.

Figura 2 – Processamento de eletrodeposição de zinco.



Fonte: Própria (2018).

- Pré-tratamento: etapa responsável por retirar as imperfeições e materiais aderidos a superfície das peças. Podendo ser realizada através do processo mecânico (jateamento, esmerilhamento, polimento e processo manual) e pelo processo químico (desengraxamento, decapagem e neutralização).
- Revestimento: refere-se a deposição eletrônica. Este processo se dá pela aderência do metal que se desprende do anodo atravessando o banho, a qual se chama eletrólito, pela ação da eletricidade.
- Passivação: tem por finalidade dar acabamento à peça e proteger ainda mais.

2.6.1 Desengraxante Químico

O objetivo desse processo é remover sujeiras aderidas às peças, óleos e graxas, mas que não tenham reagido quimicamente com as mesmas. O processo mais utilizado é a limpeza alcalina, por imersão a quente e com adição de detergentes que proporcionam uma melhor limpeza. Na Figura 3 é apresentado um tanque de desengraxante químico (PANOSSIAN,1998).

O desengraxante químico alcalino é uma combinação de diversos sais alcalinos como, hidróxido de sódio, trifosfato de sódio e outros, que tem a função de remover resíduos de polimento e óleos provenientes de proteção das peças. Os tanques para montagem deste banho devem ser de ferro ou preferencialmente ferro revestido com PVC ou PP. As resistências utilizadas para o aquecimento devem ser de aço, *pirex* ou *teflon*. Para a montagem do banho, deve seguir os seguintes passos: adiciona-se água em 50% do volume do tanque; adiciona-se o produto conforme concentração especificada, avoluma-se o tanque com o restante da água e procede a homogeneização com agitação mecânica ou ar para total dissolução do produto (SILOS, 2009.).

Figura 3 – Banho de Desengraxante Químico.



Fonte: RIBEIRO (2015).

A Figura 3 apresenta as peças, que estão sendo imergidas no tanque de desengraxante para ser retirado toda a impureza, oleosidade, graxa antes de ir para a outra etapa do processo.

2.6.2 Decapagem em Ácido Clorídrico

Esta etapa é utilizada para a remoção de óxidos, sendo realizada a temperatura ambiente, com uma solução aquosa de 15 a 17% de HCl. Utiliza-se com frequência inibidora, de maneira que se remova somente a ferrugem e as escamas de óxidos e o metal base seja pouco atacado e outros aditivos que reduzem a tensão superficial entre o líquido decapante e a peça (ZEMPULSKI; ZEMPULSKI, 2007).

2.6.3 Neutralização com Hidróxido de Sódio

Utiliza-se hidróxido de sódio como neutralizador para melhorar a condutividade elétrica. O hidrogênio formado atua mecanicamente provocando movimentação no líquido e assim eliminando a sujeira e atuando quimicamente, formando uma nova soda ativa, através da redução catódica. O potencial de redução do zinco é menor, em consequência, o seu potencial de oxidação é maior e é ele que vai oxidar e não a peça metálica. A neutralização serve para excluir os resíduos líquidos e salinos e as demais imperfeições. São utilizados líquidos com reações ácidas fracas ou alcalinas que variam de acordo com o pré-tratamento e servem para que não ocorram as descolorações (SILOS, 2009.)

2.6.4 Eletrodeposição de Zinco

É a principal etapa do processo, no qual ocorre a cobertura do substrato desejado e as características de cada banho. Os banhos de Zinco podem ser preparados com Cianeto de Zinco e isento de Cianeto, tendo como base o Zinco metálico e Hidróxido de Sódio (PONTE, 2003).

Uma das principais funções do cianeto na eletrodeposição é formar complexo com o zinco e fazer possível a deposição do zinco. A proporção de cianeto adequada na formulação dá brilho e aderência ao depósito de zinco em uma ampla faixa de densidade de corrente, regulando a eficiência catódica em relação a

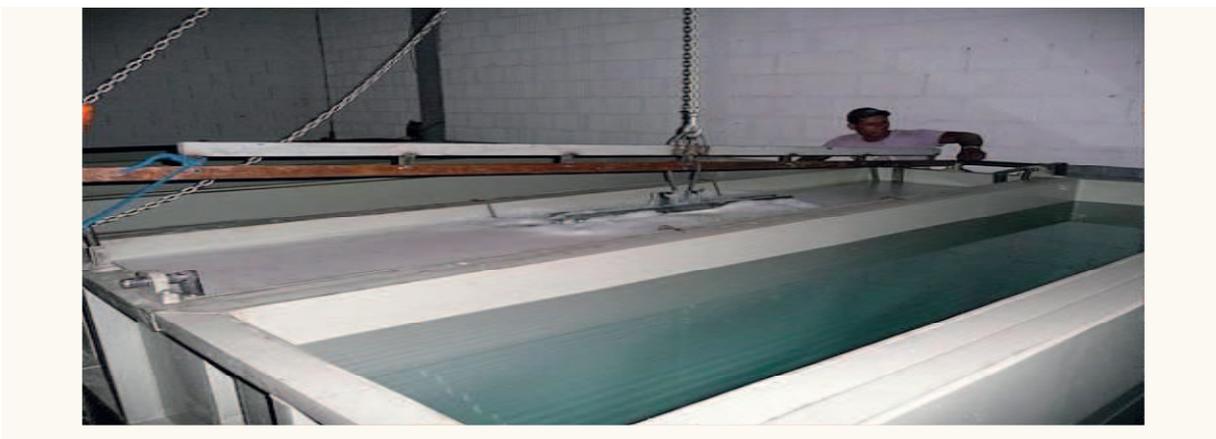
temperatura. O cianeto também oferece ao banho mais sensibilidade aos aditivos. A importância dessas propriedades do cianeto são reconhecidas quando a concentração de cianeto fica reduzida no mercado, devido às restrições de disposição dos resíduos. Para qualquer ajuste das condições de operação, a ótima concentração de cianeto vai depender das concentrações de outros componentes do banho, especialmente do zinco (LANZA, 2001).

A eletrodeposição do zinco ocorre porque o zinco é mais eletronegativo (mais reativo) que o aço na série galvânica. Na prática, isso significa que um revestimento de zinco não será rebaixado por aço enferrujado porque o aço adjacente ao revestimento de zinco não pode ser corroído. Qualquer exposição do aço na camada, devido à danificação severa do revestimento ou corte na extremidade, não resultará em corrosão do aço até que o zinco adjacente seja consumido (SILVA *et al.*, 2006).

No caso do revestimento de zinco, o índice de corrosão a que ele se submete ao proteger o aço é consideravelmente mais baixa do que a do aço (pelo menos 10 vezes menor). Assim, um revestimento fino de zinco pode proteger o aço por um longo tempo. A principal razão para o índice reduzido de corrosão do zinco em comparação com o índice do aço é que, à medida que ocorre a corrosão, o zinco forma um filme aderente protetor de óxido/carbonato em sua superfície, semelhante ao filme óxido na superfície de alumínio. Este filme ajuda a prevenir o contato entre o ambiente e o zinco fresco, mantendo baixo o índice de corrosão (SILVA *et al.*, 2006).

Na Figura 4 observa-se o tanque de banho de eletrodeposição de zinco.

Figura 4 – Banho de zinco.



Fonte: RIBEIRO (2015).

Na figura 4 tem-se o banho, ou solução de zinco onde ao imergir as peças vai haver a eletrodeposição do metal, que nesse caso é o zinco, na peça.

Para dissolução do óxido de zinco é utilizado uma proporção de 100 Kg de soda caustica para cada 25 Kg de óxido de zinco. Em um recipiente dissolve em proporção a soda caustica e óxido de zinco e agitando até total dissolução. Acertar o volume do banho com o restante da água. Deixar o banho esfriar a temperatura ambiente (RODRIGUES, 2005).

2.6.5 Ativação Ácida

É um tratamento utilizado para retirar qualquer deposição causada por oxidação do metal que podem ser formados, pois isso pode prejudicar na fixação do metal. São usadas soluções ácidas de baixa concentração, geralmente ácido clorídrico, sulfúrico, fosfórico ou nítrico (SILVA *et al.*, 2006).

2.6.6 Passivação

É uma camada protetora que se forma pela reação química entre o metal e uma solução química formulada para esta finalidade. O processo é feito através desta solução sem ajuda da eletricidade, observando sempre características determinantes de temperatura, concentração e PH. Este processo adiciona uma camada de cromato de zinco sobre a peça para melhorar a aparência dos depósitos e aumentar a resistência a corrosão (SILOS, 2009.)

2.6.7 Secagem

Após o processo de zincagem, as peças são secas em centrífugas secadoras, para secarem mais rapidamente, para serem encaminhadas diretamente para o controle de qualidade antes de ser levada ao acabamento final. Esse processo tem como características, segundo Silos (2009):

- Diminuir o choque térmico das peças a serem galvanizadas.
- Prevenir contra respingos de zinco, na área ao redor da cuba de galvanização, durante a imersão da peça no zinco fundido, fato que acontece quando há umidade.

Na Figura 5 apresenta um exemplo de centrífuga para o processo de secagem
Figura 4 – Centrífuga Secadora



FONTE: TECWEY(2018).

2.6.8 Lavagens

Remoção do excesso do banho anterior que fica na peça para que não haja contaminação do próximo banho, sendo realizada após cada estágio.

2.7 IMPACTOS AMBIENTAIS DA GALVANOPLASTIA

A atividade de galvanoplastia é altamente impactante. Dividindo-se nos três meios: líquido, sólido e gases. Tem-se vários impactos causados ao meio ambiente, que serão descritas abaixo, segundo Bosco (2003).

- Consumo de água e geração de efluentes: a água é o principal insumo utilizado nas indústrias de galvanoplastia. Com exceção do desengraxe por solventes, todos os outros eletrólitos são soluções aquosas. O consumo da água é um fator que preocupa a indústria em dois pontos:
 - ✓ Custo da água consumida: em várias regiões do país há escassez do recurso, tendência que pode se agravar com a super exploração de águas superficiais e subterrâneas. Com o tempo pode aumentar o custo deste recurso.
 - ✓ Maior consumo de água implica em maior quantidade de efluentes, portanto, maiores custos em seu tratamento e maior geração de lodo no tratamento.

Os efluentes gerados no processo galvânico são compostos tanto por água de desengraxe como por descarte de alguns eletrólitos. Efluentes perigosos exigem tratamento e disposição especiais e incluem:

- Eletrólitos gastos ou contaminados contendo metais.
- Soluções gastas de limpeza (ácido sulfúrico, clorídrico, ácido crômico ou hidróxido de sódio).
- Sais e metais pesados em solução.

Os efluentes são tratados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), dentro das empresas, após o qual se procede ao descarte em redes de água e esgoto, ou direto em corpos d'água, dependendo do tratamento ou da disponibilidade de rede de esgoto na região.

Acidentes ou a falta de tratamento adequado dos efluentes podem causar, segundo Dutra (2002).

- Perda do sistema de tratamento biológico de esgotos da região e consequentes problemas no seu gerenciamento.
- Danos aos recursos hídricos para abastecimento, por contaminação grave em virtude de cianeto e metais.
- Destruição de ecossistemas aquáticos.
- Emissões Atmosféricas

As emissões provenientes da atividade são oriundas do uso de compostos orgânicos voláteis (VOC) e de material particulado fino. A presença de particulados pode causar problemas de saúde aos moradores próximos da empresa. As emissões de uma galvanoplastia incluem: vapores ácidos ou com cianetos; partículas metálicas ou pó do processo, névoas de aerossol.

Os principais resíduos sólidos gerados numa indústria galvânica são : lodo de tratamento, que contém sais metálicos precipitados na forma de hidróxidos; produtos rejeitados e pó de polimento (DUTRA, 2002).

O lodo do tratamento é um dos problemas que mais afeta a atividade. Atualmente, a alternativa mais usada é a disposição em aterros especiais, com altos custos de disposição. Em função dos metais presentes no lodo, este resíduo é classificado como classe I – Perigoso, pela ABNT NBR 10004, o que exige esta destinação controlada.

O segundo insumo mais utilizado em galvanoplastia depois da água é a energia elétrica. Ela é necessária para as reações de deposição, operação de eletrólitos, motores e compressores, além do aquecimento dos eletrólitos e a secagem de peças. Embora não haja legislação que controle este consumo, a exemplo do que ocorre com a água deve-se ter o cuidado de reduzir o consumo de eletricidade ao mínimo, de modo a reduzir custos.

O principal impacto dos metais no ambiente está na forma de sais solúveis, que não são destruídos no processo de tratamento, permanecendo no lodo resultante. A sua forma pode mudar ou ser alterada para que não estejam facilmente biodisponíveis, mas continuam presentes.

- Cianetos: Compostos solúveis de cianeto, tais como, o cianeto de hidrogênio ou de potássio têm baixa adsorção em solo com alto pH, alto carbonato e baixa argila. No entanto, em pH menores que 9,2 a maior parte do cianeto livre se converte em HCN que é altamente volátil e tóxico. Os cianetos solúveis não se bioconcentram.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado através de revisão de literatura, que consiste no processo de busca, análise e descrição fundamentada em livros, artigos de periódicos, trabalhos de conclusões de curso, monografias, dissertações e teses, nacionais e internacionais, sobre o tema estudado. A partir do levantamento bibliográfico foi verificada, a importância de se estudar os pontos relevantes do assunto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no estudo realizado percebe-se a necessidade da substituição do banho de zinco alcalino com cianeto pelo banho de zinco alcalino sem cianeto, devido as crescentes exigências para minimizar os danos ambientais causados pelos resíduos, principalmente os que contem cianeto que apesar de sua facilidade no controle do processo, exige um alto risco tanto a saúde quanto ambiental. São descritas abaixo as exigências governamentais que condicionam o uso do cianeto.

No Brasil, a resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011, que dispõe sobre padrões de lançamento de efluentes para descarte em rios, estabelecem o limite máximo de 1,0 mg/L de cianeto total em efluentes e 0,2 mg/L de cianeto livre.

As indústrias que não agirem de acordo com as normas ambientais para o uso do cianeto estão sujeitas as seguintes penalidades:

- A Lei federal de número 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, que trata dos crimes ambientais em seu regulamento, causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora terá pena de reclusão, de um a quatro anos, e multa.

Tendo em vista a elevada toxicidade do cianeto e sua larga utilização na indústria gerando efluentes com uma concentração relativamente elevada de espécies cianídricas, coloca-se uma crescente necessidade de desenvolvimento de tecnologias de tratamento cada vez mais eficientes e de menor custo. Estes poluentes são tóxicos e não biodegradáveis e tendem a permanecer no meio indefinidamente, circulando e eventualmente acumulando durante toda a cadeia alimentar, conduzindo a perigos sérios ecológicos e a saúde humana em consequência de sua solubilidade e mobilidade (GONÇALVES, 2004).

O processo de galvanização, basicamente envolve uma sequência de banhos consistindo de etapas de pré-tratamento, de revestimento e de conversão de superfície. Entre estas etapas, a peça sofre um processo de lavagem. Desta forma, são originados efluentes líquidos, emissões gasosas e resíduos sólidos que necessitam de tratamento específico.

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 NBR 10.004, da ABNT. 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.

De acordo com o referencial observa-se que um grande número de insumos utilizados nos processos de galvanoplastia possuem toxicidade ou periculosidade se não forem manuseados e/ou tratados adequadamente. Porém, existem meios de prevenir e remediar danos ao meio ambiente e também aos trabalhadores envolvidos no processo.

Existem medidas ou alternativas que podem ser tomadas para redução de geração de rejeitos industriais ou mesmo alternativas de reuso ou reciclagem dos mesmos. Também chamadas de Medidas de Produção mais Limpa, estas alternativas além de eliminar desperdícios de matéria prima, aumentam a eficiência dos processos e trazem, além da adequação ambiental, a redução de custos, melhoria da imagem da empresa, entre outros benefícios Bosco (2003).

A seguir serão apresentadas algumas medidas possíveis de redução de insumos em galvanoplastia:

- a) Eliminação ou substituição de materiais tóxicos por outros menos tóxicos: existem alguns produtos disponíveis no mercado que, em alguns casos, podem ser utilizados, como por exemplo:
 - Eletrólitos de ouro livres de cianeto base sulfito [Au(SO₃)], com cobre e paládio como metais de liga.
 - Eletrólitos de cobre sem cianeto, desenvolvidos pela preocupação com a saúde e segurança dos operadores em galvanoplastia.
 - Substituição de decapantes a base de cianetos por produtos isentos de cianeto, compostos por uma solução de ácido sulfúrico com peróxido de hidrogênio.
 - Substituição de cianeto em desengraxantes para metais não ferrosos (cobre, latão e zamak) por outros sem cianetos.

- b) Aumento de vida útil dos eletrólitos: seguem algumas medidas que auxiliam no aumento da vida dos eletrólitos, inclusive medidas de redução de arraste.
 - Filtração: o objetivo é eliminar impurezas e partículas não dissolvidas (em suspensão), o que implica na melhoria da camada depositada, evitando rugosidade e manchas. O eletrólito é filtrado quando há paradas de processo nos chamados filtro bomba.
 - Filtração com Carvão Ativado: realizada para eliminar aditivos orgânicos degradados, gerados na oxidação anódica ou redução catódica, cuja presença influi negativamente na deposição metálica. Deve-se atentar que sempre há perda de uma parte do eletrólito pela filtração por carvão.
 - Eletrólise seletiva dos eletrólitos: o uso de baixas densidades de corrente e alta velocidade de deposição faz com que os metais contaminantes se

depositem em taxas muito maiores que a habitual. Este princípio é utilizado para eliminar metais contaminantes, como por exemplo, em eletrólitos de níquel para remover contaminações de zinco ou cobre, e em menor grau para a limpeza de eletrólitos de cobre e prata. Para tanto, colocam-se chapas onduladas ligadas a um retificador dentro dos eletrólitos, depositando-se os metais nelas.

- Melhorias no Enxágue das Peças: o enxágue consiste na remoção por diluição de um filme aderente do eletrólito da superfície de uma peça, substituindo-o por um filme de água. É aplicado logo após processos como limpeza, desengraxe, decapagem ou a deposição de metais.
- Recuperação de Materiais: uma vez que não é mais possível reduzir o gasto de produtos, deve-se tentar a recuperação, principalmente quando se tratam de metais nobres.

Estas são algumas sugestões de medidas para tornar a produção mais limpa e que podem ser implementadas nas empresas do setor.

O uso de soluções que contenham cianeto é inviável, pois seu uso causa consequências seríssimas ao meio ambiente e além do seu alto custo. Entretanto, apesar dos riscos de acidentes envolvidos no manejo da solução cianídrica e dos imensos danos ambientais causados pelos resíduos industriais produzidos, ainda é muito comum a utilização destes nas indústrias galvânicas, motivada, principalmente, pelo baixo custo operacional, quando comparado aos processos isentos de cianetos, além de elevada taxa de reposição metálica, pré-tratamento simples do metal-base, utilização de equipamentos pouco sofisticados, uniformidade e ductilidade do depósito (DINI, 2000).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo propôs um grande conhecimento, atribuindo capacidade para adentrar em novas atividades no ramo da galvanoplastia e oportunidade de aprofundamento maior nesta área.

Conclui-se que o processo de galvanoplastia é de grande importância, uma vez que, o metal depositado protege as peças metálicas contra a corrosão aumentando o tempo útil da peça galvanizada, além da finalidade estética, contribuindo para o valor final do produto acabado.

Neste artigo foi possível a discussão e descrição de todo o processamento da eletrodeposição do zinco e percebeu-se que o uso de soluções que contenham cianeto é inviável, pois seu uso causa grandes impactos ambientais, além do seu alto custo.

Atualmente, existem alguns estudos para substituir o cianeto nos eletrólitos de galvanoplastia (CAPORALI, 2007) estudou uma solução alternativa para a eletrodeposição de prata sem usar cianeto e solventes tóxicos voláteis. Em outro estudo (CARLOS et al, 2005), estudou-se a utilização de uma solução alcalina para a eletrodeposição de cobre, à base de Sorbitol como agente complexante. Uma solução alcalina livre de cianeto também foi utilizada por Lima Neto *et al.* (2006) para estudar a eletrodeposição de zinco.

ABSTRACT

Electroplating is a type of surface treatment that consists of depositing one metal over another through electrolytic reduction. This treatment is done for surface protection, improving its conductivity and ability to be welded. Galvanizing also called Electro-forming is the whole process of electroplating, where metals are coated by other noble metals, used to protect from corrosion. The deposition of a metal on the surface of a metal part provides good durability and greater strength of the metal part. This deposition occurs through baths, where the parts are subjected to one or more baths, which can be chromium, nickel, gold, silver, copper, zinc or tin. This work aims to present and describe the stages of the process Galvanoplástico of alkaline zinc without cyanide. Zinc is preferably used because one of its most important properties is to protect iron and steel from corrosion, as well as the value of processing using zinc is much cheaper than using other metals.

Key words: electroplating, electroplating, zinc.

REFERÊNCIAS

GONÇALVES, ADRIANA Cinopoli. Tratamento de Efluentes Contendo Cianeto Livre Através do Sistema H₂O₂/UV - Tese de Doutorado; 2004.

ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DO ZINCO. Guia de bolso para o mundo do zinco, Bruxelas. Associação internacional do zinco, 2000.

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. US DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, Toxicological Profile for Cyanide, 2006.

BOSCO, A. A. et. al. Efluentes Derivados dos Processos de Galvanoplastia. Curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental. Laboratório de Pesquisas Ambientais – LAPA, LimeiraSP, 2003.

BUZZONI, H.A. Galvanoplastia. 2° Ed. São Paulo. Editora Ícone, 1991.

BRASIL .LEI Nº 9.605, DE 12 DE FEVEREIRO DE 1998 .Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

CARLOS, I. A. et al. Study and development of an alkaline bath for copper deposition containing sorbitol as complexing agent and morphological characterization of the copper film. Surface & Coatings Technology, Amsterdam, v. 192, n. 2, p. 145-153, 2005.

CAPORALI, S., BOMPAROLA, R., LAVACCHI, A., BARDI, U. Silver electrodeposition from air and waterstable ionic liquid, an environmentally friendly alternative to cyanide baths. Surface & Coatings Technology, Amsterdam, v. 201, n. 22, p. 94, 85, 90, 2007.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 17 de março de 2005.

DINI, J. W. Electrodeposition of Copper. In: SCHLESINGER, M., PAUNOVIC, M. (Org.). Modern Electroplating. (4. ed.). New York: Wiley-Interscience Publication, 2000. cap. 2, p. 61-138.

DUTRA, A. J. B., SOBRAL, L. G. S., LEMOS, F. A. O processo eletroquímico como alternativa para o tratamento de efluentes cianídricos. REM - Revista Escola de

Minas, Ouro Preto, outubro/ dezembro, p. 267-272, 2002.

FIGUEIREDO, V. C. N.; TRAPÉ, A.Z. . O uso do cianeto na produção de bijuterias e folheados: proposta de investigação sobre a saúde das trabalhadoras em domicílio no município de Limeira. *Revista de Ciências Médicas (PUCCAMP)*, v. 16, p. 97-107, 2008.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. Corrosão dos metais. 2017. Disponível em: <http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/corrosao-dos-metais.htm>. Acesso em: 31 de Julho de 2017.

GENTIL, Vicente. Corrosão: Corrosão e Anti Corrosivos. 6° Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A, 2007.

GNECCO, C.; MARIANO, R.; FERNANDES, F. Instituto Brasileiro de Siderurgia Centro Brasileiro da Construção em Aço. *Tratamento de Superfície e Pintura*. 2003, 96f. Série Manual da Construção em Aço. Rio de janeiro. 2003.

GRUPO INTERNACIONAL DE ESTUDOS DO CHUMBO E DO ZINCO. Guia de bolso para o mundo do zinco, Londres: Grupo internacional de estudos do chumbo e do zinco, 2000, 2009.

IPCS (International Programme on Chemical Safety). Hydrogen cyanide and cyanides: human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 61, 2015.

KRANKEL, Fábio. *Manuais Técnicos: Pintura Industrial com Tintas Líquidas*. Referência 03. Treinamento: Desenvolvimento tecnológico DT-12: Pintura Industrial com tintas Líquidas. Revisão 04. 2014.

LANZA, M.R.V; Tratamento eletroquímico de efluentes cianídricos usando eletrodos comerciais de óxidos de metais nobres. Tese doutorado UNICAMP pp-4-7, 2001.

LIMA-NETO, P. et. al. Estudo Eletroquímico de um Novo Banho Galvânico de Zinco Alcalino Livre de Cianeto. *Química. Nova*, Vol. 29, No. 1, p. 15-19, 2006.

LISBOA, A.; BARIN, C. S. Eletrodeposição de Ligas Metálicas Nobres para Fabricação de Jóias e Jóias Folheadas. *UNOPAR Cient. Exatas Tecnol.*, Londrina, v. 8, n. 1, p. 27-33, Nov. 2009.

LOWENHEIM, F.A. Modern Electroplating. The Electrochemical Society. 3ªed. 2007.

MANUAL TÉCNICO SURTEC. Tratamento de superfícies. Organizado e atualizado e revisado por SILOS, Roberto Motta. 3ª edição. São Bernardo do Campo, SP: Surtec do Brasil, 2009.

NBR 10.004, da ABNT

NOGUEIRA,L.S.; PASQUALLETO,A; PLANO DE PREVENÇÃO DE RISCOS AMBIENTAIS (PGRA) PARA EMPRESAS DE GALVANOPLASTIA . GOIANIA : 2008.

PANOSSIAN, Z.. Banho de Cobre Alcalino. Tratamento de Superfície – São Paulo-SP, 1998.

PASQUALINI, A. Estudo de caso aplicado a galvanoplastia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2004. Tese (Mestrado).

PONTE, H.A; fundamentos da eletrodeposição --- UFPR, pp. 7 e 25, 2003.

RODRIGUES, M. I., Planejamento de experimentos e otimização de processos : uma estratégia sequencial de planejamentos. Antonio Francisco lemma.- 1a ed. – Campinas, SP: Casa do Pão Edidora, 2005.

SILVA, GP, FREIRE, N.S., MATOS,D.E.,CORREIA, A.N, LIMA-NETO, P. estudo eletroquímico de um banho galvânico de zinco alcalino livre de cianetos. Química Nova.2006; 29:15-19.

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

SILLOS,Vicente. Corrosão: Corrosão e Anti Corrosivos. 2º Ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A, 2012.

SILVA, A.I.F.; AFONSO, J.C.; SOBRAL, L.G S.Avaliação do efeito da concentração de carbonato na eletrodeposição de cobre sobre discos de aço-carbono. Química Nova, v. 31, n. 7, p.1843-1850, 2008.

TECWEY (2018).

ZACARIAS Cyro Hauaji, EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A CIANETOS – UMA BREVE REVISÃO, REVISTA INTERTOX DE TOXICOLOGIA, RISCO AMBIENTAL E SOCIEDADE. ISSN1984-3577 - Vol.2, N.3 JUL/OUT 2009.

ZEMPULSKI; ZEMPULSKI. Galvanização a Fogo, Instituto de Tecnologia do Paraná; Dossiê Técnico. Galvanização Eletrolítica. 2007.

WATANABE, R.H.; LIMA-NETO, B.S.. Desenvolvimento de banhos eletrolíticos para tratamentos de superfícies usando compostos bem definidos de metais de transição. Revista Analytica, n. 31, p.72-77, 2007.