



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CÂMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RENATA DE OLIVEIRA MARINHO

**ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO
PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA**

CARAÚBAS - RN

2017

RENATA DE OLIVEIRA MARINHO

**ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO
PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Ciência e
Tecnologia da Universidade Federal
Rural do Semi-Árido (UFERSA),
Câmpus Caraúbas, como parte dos
requisitos para obtenção do Título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Batista de
Queiroz - UFERSA.

Co-orientador: Prof. Dr. Eudésio
Oliveira Vilar– UFCG.

CARAÚBAS - RN

2017

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M3376

78a

Marinho, Renata de Oliveira.

ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO
AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA / Renata de
Oliveira Marinho. - 2017.
55 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Batista de Queiroz.
Coorientador: Prof. Dr. Eudésio Oliveira Vilar.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2017.

1. Galvanoplastia. 2. Ensaios Eletroquímicos.
3. Corrosão. I. Queiroz, Prof. Dr. Marcelo Batista de, orient. II.
Vilar, Prof. Dr. Eudésio Oliveira, co-orient. III. Título.

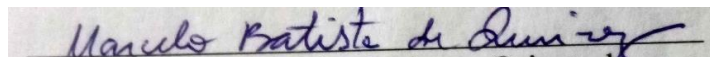
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RENATA DE OLIVEIRA MARINHO

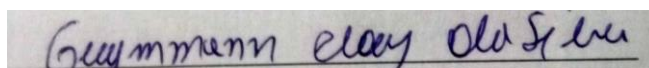
**ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO
PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA**

AVALIADA EM: 22 / 05 / 2017

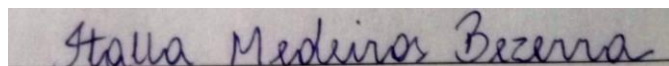
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcelo Batista de Queiroz
Orientador - UFERSA



Prof. Dra. Guymmann Clay da Silva
Membro Interno - UFERSA



Prof. Dra. Italla Medeiros Bezerra
Membro Interno - UFERSA

CARAÚBAS - RN

2017

Dedico este trabalho com meu imenso amor aos meus pais, Adalcy Marinho e Márcia Veronica, por toda batalha enfrentada para proporcionar uma educação de qualidade, assim como para todos os docentes e discentes que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por conceder forças e estabilidade para prosseguir o trabalho e por me ajudar a nunca desistir dos meus objetivos.

À minha família que sempre foi e será a base para minhas conquistas, meu pai, Adalcy Marinho, minha mãe, Márcia Verônica, minha irmã, Fernanda Marinho e aos meus avós, Edmilson Oliveira e Ilza Alves que sempre estiverem comigo se esforçando junto a mim para que tudo ocorresse bem e estimulando a alcançar meus planos.

Ao professor Marcelo Queiroz por toda sua ajuda, orientação, esforço e paciência para que o trabalho fosse realizado como planejado.

Ao meu co-orientador, professor Eudésio Vilar por sua ajuda e por disponibilizar o Laboratório de Engenharia Eletroquímica (LEEq) para que ocorresse o proceder do trabalho.

À toda minha família nascida aqui na UFERSA que sempre estiverem ao meu lado e assim como vários outros que me ajudaram, em especial, Pedro Praxedes, Webert Araújo, Eufranor Filho, Gabriel Moura e Denny Lacerda.

Aos meus irmãos de coração, Alysson Lemos e Fernando Junior que sempre me ajudaram em tudo que precisei, inclusive no decorrer deste trabalho.

Agradeço o apoio e paciência de Letícia Ainoan, Sara Nunes e Jocélia Dantas.

A todos os meus amigos de Patos, que mesmo distante atuaram com um papel muito importante. Obrigada Maria Rita, Jecyane Pereira, Juliana Simplício, Gabriel Feitosa e, em especial, Diego Windson.

Agradeço os conselhos, ensinamentos acadêmicos e o apoio das minhas queridas professoras, Ana Tereza e Guymmann Clay, durante toda essa jornada.

A todos os docentes e discentes que de forma direta ou indireta contribuíram em todo o meu caminhar. De coração, agradeço a todos!

A todos vocês, meu muito obrigado!

“ Quando se deseja muito alguma coisa, o universo inteiro conspira para que seu desejo se realize. ”

O Alquimista

RESUMO

A galvanoplastia é um processo químico que consiste no depósito de finas camadas de um metal sobre superfícies de corpos metálicos ou não, por meios químicos ou eletroquímicos. Esse procedimento químico ou eletroquímico é aplicado a vários ramos industriais, por apresentar uma excelente propriedade anticorrosiva, assim como outros critérios que faz com que esse procedimento seja bastante utilizado para a indústria. Porém, todo material encontra-se exposto a intempéries como: a umidade, salinidade e variações de temperatura, podendo ocasionar o surgimento de processos corrosivos em sua estrutura. Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a resistência a corrosão de amostras metálicas que foram submetidas ao processo galvânico de banhos de ZnNi e ZnFe. Este consisti em fazer um estudo comparativo entre as amostras de ZnNi e ZnFe, por meio de testes eletroquímicos, para analisar a resistência à corrosão e verificar qual banho é mais resistente e adequado para meios corrosivos. Todas as amostras estudadas neste trabalho foram submetidas aos ensaios: Potencial de corrosão em função do tempo – EVT, Resistência a Polarização (R_p) e Taxa de Corrosão (CR) e Corrosimetria. De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a placa galvanizada com ZnFe apresentou o menor valor de R_p , mostrando uma maior suscetibilidade à processos corrosivos quando comparada a ZnNi. O teste de EVT mostrou que a amostra de ZnFe mostrou o maior potencial corrosivo que a de ZnNi. A corrosimetria apresentou o ZnNi com os melhores resultados de resistência a polarização (R_p), ou seja, mais resistentes que a amostra de ZnFe. De forma geral, este trabalho indicou qual liga dentre as amostras comparadas, apresentou uma melhor ou pior resistência a corrosão, mostrando que o revestimento de ZnNi é o mais adequado para meios muito corrosivos.

Palavras-chave: Galvanoplastia; Ensaios eletroquímicos; corrosão.

ABSTRACT

Electroplating is a chemical process that consists of depositing thin layers of a metal on surfaces of metallic bodies or not, by chemical or electrochemical means. This chemical or electrochemical procedure applied to various industrial branches, by presenting an excellent anticorrosive property, as well as other criteria that make this product properly used for an industry. However, all material was found to be in bad weather, such as humidity, salinity and temperature variations, which may lead to the appearance of corrosive processes in its structure. This work has as general objective to evaluate a corrosion resistance of metallic samples that were submitted to the galvanic process of ZnNi and ZnFe baths. This consisted of a comparative study between the samples of ZnNi and ZnFe, through electrochemical tests, to analyze a resistance to corrosion and verify the quality of the products and services for the corrosive media. All samples studied in this work were submitted to tests: Corrosion potential as a function of time - EVT, Polarization Resistance (R_p) and Corrosion Rate (CR) and Corrosimetry. According to the obtained results, it can be concluded that the galvanized plate with ZnFe presented the lowest value of R_p , showing a greater susceptibility to corrosive processes when compared to ZnNi. The EVT test showed a ZnFe sample showed the highest corrosive potential of ZnN. Corrosimetry showed ZnNi with better polarization resistance (R_p) results, that is, more resistant than a ZnFe sample. In general, this type of work can be used as compared samples, presented a better or more corrosion resistant, showing that the coating of ZnNi is the most suitable for corrosion very means.

Key words: Electroplating; Electrochemical tests; Corrosion.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivo Específico	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1. GALVANIZAÇÃO	16
2.1.1. Processos de galvanização	16
2.1.1.1. Zincagem ou galvanização por imersão à quente	16
2.1.1.2. Zincagem por aspersão térmica (metalização)	18
2.1.1.3. Zincagem ou galvanização eletrolítica	19
2.2. GALVANOPLASTIA	20
2.2.1. Eletrodeposição	21
2.2.2. Proteção anticorrosiva	21
2.3. ETAPAS DA GALVANIZAÇÃO ELETROLÍTICA	22
2.3.1. Desengraxe	23
2.3.2. Decapagem	23
2.3.3. Zincagem	25
2.3.4. Passivação e acabamento	25
2.3.5. Secagem	26
2.4. GALVANIZAÇÃO DO ZINCO – NÍQUEL	27
2.5. GALVANIZAÇÃO DO ZINCO – FERRO	28
2.6. RESISTÊNCIA A CORROSÃO DE METAIS GALVANIZADOS	29
2.6.1. Resistência do revestimento de Zinco – Níquel	30
2.6.2. Resistência do revestimento Zinco – Ferro	31
2.7. CORROSÃO DE SUPERFÍCIES	32
2.8. TESTES ELETROQUÍMICOS DE CORROSÃO	33
2.8.1. Polarização linear	34
2.8.2. Potencial de corrosão em função do tempo (EVT)	35
2.8.3. Técnica de Corrosimetria	36
3. METODOLOGIA	37

3.1. MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1.1. Resistência a Polarização (Rp) e Taxa de Corrosão (CR)	38
3.1.2. Cálculos	40
3.1.3. Potencial de Corrosão em função do tempo (EVT)	41
3.1.4. Corrosimetria.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1. ANÁLISES ELETROQUÍMICAS DE CORROSÃO	43
4.1.2. Potencial de Corrosão em função do tempo (EVT)	43
4.1.3. Resistência à Polarização (Rp) e Taxa de Corrosão (CR)	44
4.1.4. Corrosimetria.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
6. REFERÊNCIAS	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Galvanização por imersão à quente.	18
Figura 2: Recobrimento das partículas quando atingem a superfície.....	18
Figura 3: Aplicação da camada de zinco por aspersão térmica.....	19
Figura 4: Deposição eletrolítica do zinco.....	19
Figura 5: Diferentes acabamentos da zincagem eletrolítica.....	20
Figura 6: Imersão do material em soluções alcalinas.....	23
Figura 7: Processo de decapagem.....	24
Figura 8: Material antes da etapa de decapagem.....	24
Figura 9: Material após a etapa de decapagem.....	24
Figura 10: Imersão da peça em uma solução de sais de zinco..	25
Figura 11: Passivação da peça.....	26
Figura 12: Secagem ao ar livre.....	26
Figura 13: Peças galvanizadas com revestimento Zinco – Níquel.....	27
Figura 14: Material galvanizado Zinco – Ferro.....	28
Figura 15: Esquema comparativo admitindo o fenômeno corrosivo como um processo inverso ao metalúrgico.	32
Figura 16: Representação hipotética da resistência a polarização (R_p).	35
Figura 17: Banho ZnNi.....	37
Figura 18: Banho ZnFe.....	37
Figura 19: Fita Isolante.....	38
Figura 20: Experimento utilizado nos testes eletroquímicos de corrosão.....	38
Figura 21: Célula eletroquímica com três eletrodos. (1) Eletrodo de referência (SCE), (2) Eletrodo de trabalho (amostra), (3) Eletrodo auxiliar de platina.....	39
Figura 22: Material utilizado para os testes de potencial de corrosão em função do tempo...41	
Figura 23: Gráfico de Ewe vs. ($Hg/HgSO_4$) em função do tempo, em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra galvanizada com ZnFe.....	43
Figura 24: Gráfico de Ewe vs. ($Hg/HgSO_4$) em função do tempo, em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra galvanizada com ZnNi.....	43
Figura 25: Gráfico de polarização linear em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra de ZnFe.....	45
Figura 26: Gráfico de Polarização linear em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra ZnNi.....	45
Figura 27: Gráfico representativo das curvas de Tafel em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra de ZnFe.....	46
Figura 28: Gráfico representativo das curvas de Tafel em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra de ZnNi.....	46
Figura 29: Curvas do teste de corrosimetria em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra do ZnFe.....	49
Figura 30: Curvas do teste de corrosimetria em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra do ZnNi.....	49
Figura 31: Gráfico de R_p em função do tempo. Amostra de ZnFe.....	50
Figura 32: Gráfico de R_p em função do tempo. Amostra de ZnNi.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre o tempo de imersão e a espessura da camada.	17
Tabela 2: Durabilidade do aço.	30
Tabela 3: Potenciais da amostra de ZnNi e ZnFe.	44
Tabela 4: Valores obtidos de b_a e b_c na curva de Tafel.	47
Tabela 5: Dados obtidos de densidade (ρ) e peso equivalente (EW) das amostras.	47
Tabela 6: Dados obtidos para R_p , I_{cor} e E_{cor} das amostras.	48
Tabela 7: Taxa de Corrosão das amostras.	48

1. INTRODUÇÃO

O estudo da corrosão de superfícies vem se tornando bastante importante e a busca por soluções está cada vez mais indispensável. Todos os materiais possuem uma interação com o meio ambiente, e essa interação faz com que os mesmos sofram alterações químicas e eletroquímicas. Para Helene (1993), a corrosão pode ser entendida como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, como resultado de reações deletérias de natureza química ou eletroquímica, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de degradação.

A indústria procura sempre inovar em materiais utilizados na fabricação dos seus produtos, entretanto os metais continuam sendo uma das suas principais matérias primas e os mesmos são suscetíveis a corrosão e aos danos que a mesma causa. Nesse meio, o aço 304 é um dos mais utilizados pois possui excelentes propriedades, como resistência à corrosão, capacidade de conformação e excelente soldabilidade. Contudo, o meio fica cada vez mais agressivo e causa deterioração nesses materiais. Sendo assim, as indústrias começaram a adotar vários métodos de prevenção, e atualmente tanto nos produtos acabados quanto no processo de fabricação intermediário, a utilização de revestimentos protetores tornou-se um pré-requisito.

Na metade do século XIX, com o aumento da atividade industrial surgiram novas aplicações para o tratamento das peças metálicas, para efeitos decorativos e visando conferir requisitos da engenharia, como proteção a corrosão e aumento a resistência (ARAÚJO, 2015).

A galvanoplastia é procedimento/tratamento de superfície que consiste em depositar um metal sobre o outro, através da redução química ou eletrolítica. Há tempos que a galvanoplastia vem sendo utilizada pelas indústrias, atribuindo resistência e beleza aos metais, modificando suas dimensões e protegendo-as contra a corrosão.

Atualmente, a aplicação da galvanoplastia abrange vários ramos da atividade econômica como: a construção civil, a indústria automobilística, indústrias de bijuterias, de utensílios domésticos, entre outros. Os objetos submetidos a tratamentos de superfície estão presentes no nosso cotidiano, mas pouco é conhecido sobre processos complexos pelos quais estão sujeitos. O procedimento da galvanoplastia é feito em três etapas: o pré-tratamento, o tratamento e pós-tratamento.

No Brasil, esse procedimento iniciou-se para fins decorativos e desde então, sua produção vem crescendo exponencialmente. Os dois pontos principais que ocasionou esse crescimento – tanto no Brasil, como na indústria mundial – são as suas boas propriedades anticorrosivas e seu baixo custo em relação a outros procedimentos.

Existem alguns metais em processos galvânicos muito utilizados para proteger as superfícies metálicas como o zinco, níquel e o cromo, tendo como o processo de zincagem o mais utilizado pelo baixo custo do metal. Existem três processos comumente conhecidos, zincagem ou galvanização por imersão à quente, zincagem por aspersão térmica e zincagem ou galvanização eletrolítica.

Há dois banhos galvânicos que se mostrou com propriedades anticorrosivas singulares, o banho de ZnNi e ZnFe. Os mesmos têm excelente cobertura e resistência anticorrosiva e seu processo de zincagem, em trabalho, se dá por meio da galvanização eletrolítica. Entretanto, como todo material, estão sujeitos a ações de degradações do meio.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a resistência a corrosão de amostras metálicas que foram submetidas ao processo galvânico de banhos de ZnNi e ZnFe.

1.1.2. Objetivo Específico

- Estudar o EVT (potencial em função do tempo);
- Estudar o Rp (resistência a polarização) e Taxa de Corrosão (CR);
- Estudar o efeito de Corrosimetria nas amostras metálicas;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. GALVANIZAÇÃO

A galvanização consiste na aplicação de um revestimento de metal por outro com a finalidade de impedir processos corrosivos e/ou melhorar a aparência. Esse procedimento que ocorre, geralmente, em materiais como o aço, proporciona proteção contra corrosão ao mesmo, sendo assim, uma das principais causas para o uso da galvanização.

Geralmente, o metal depositado é o zinco, no qual além de proporcionar a proteção contra a corrosão, a camada de zinco garante uma boa resistência à temperatura, lubrificação, durabilidade, resistência mecânica reforçada, estética, dentre vários outros benefícios. A durabilidade da galvanização é diretamente proporcional a espessura da camada de zinco.

De acordo com o MANUAL DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO, 2007, p.13, citado por ARAÚJO (2015) no Brasil o processo galvânico foi iniciado para atender requisitos decorativos de peças, 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.

2.1.1. Processos de galvanização

Os processos mais usais para obtenção de uma superfície galvanizada são a zincagem ou galvanização por imersão à quente (a fogo), zincagem por aspersão térmica (metalização) e zincagem ou galvanização eletrolítica (a frio) (ZEMPULSKI e ZEMPULSKI,2007).

2.1.1.1. Zincagem ou galvanização por imersão à quente

A galvanização por imersão a quente consiste na imersão do aço ou ferro fundido a um banho de zinco fundido à uma temperatura aproximada de 450°C, para que haja uma boa interação entre os elementos envolvidos. A figura 1 apresenta a galvanização por imersão à quente.

Quando imerso no banho de zinco, é importante que haja um controle do tempo e da espessura da camada desejada. O monitoramento das condições de entrada, permanência e saída do banho desta galvanização permitem obter variados tamanhos de espessura do revestimento, podendo assim alcançar a espessura desejada, como observado na **Tabela 1**.

Após a remoção do elemento do banho de zinco, uma camada de zinco puro recobre a superfície.

Tabela 1: Relação entre o tempo de imersão e a espessura da camada.

Tempo de imersão	Espessura	
	Sem jateamento	Com jateamento
30s	52	110
60s	60	130
120s	82	180
180s	110	220
240s	130	240

Fonte: PORTAL METÁLICA.

O processo de zincagem por imersão à quente eficiente, também depende do projeto das peças envolvidas. É ideal que todas as modificações, tais como perfurações, chanfros, entre outras sejam feitas antes que a peça passe pelo procedimento de zincagem, promovendo um melhor escoamento da camada permitindo que a peça fique homogênea, ou seja, sem áreas desprotegidas ou com excesso de material.



Figura 1: Galvanização por imersão à quente. Fonte: Galvaniza Ltda.

2.1.1.2. Zincagem por aspersão térmica (metalização)

Na zincagem por aspersão térmica o procedimento de aplicação se dá por meio do uso de uma pistola, como apresentado na Figura 3, semelhante às de pinturas (dotada de arame de zinco no interior, de pó ou metal fundido), que espalha o metal em forma de partículas sobre a superfície do material, que deve estar adequadamente limpo.

Segundo Zempulski e Zempulski 2007, ao alvejar a peça metálica ocorre a aspersão do zinco. As gotas do metal líquido são solidificadas quando atingem a superfície e formam uma camada levemente porosa de lâminas que se recobrem, e que deve ser impregnada com um selante de modo a obter a máxima resistência à corrosão (Figura 2). Não há a formação de intermetálicos e a adesão é obtida pelo ancoramento mecânico junto à superfície. O custo deste tratamento é alto devido às exigências elevadas em termos de preparo e limpeza superficial.

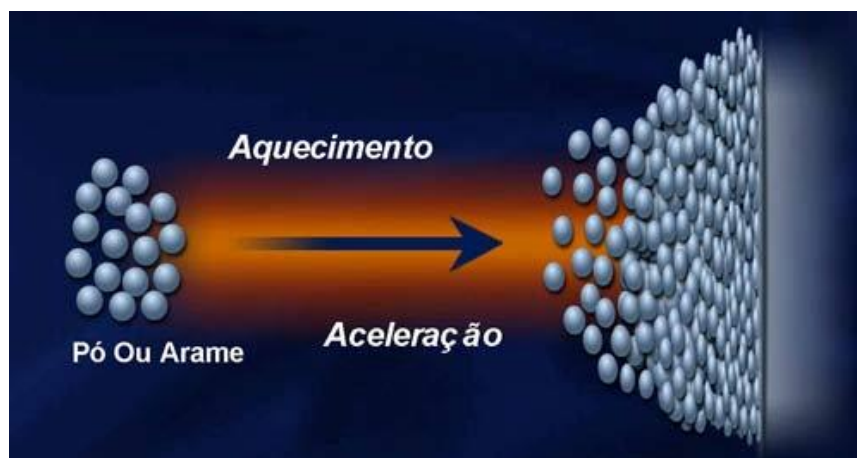


Figura 2: Recobrimento das partículas quando atingem a superfície. Fonte: Portal Metálica

Apesar do custo alto deste procedimento, ele é necessário quando se necessitam de camadas extremamente espessas para melhor proteção do material. É um método bastante

adequado para a recuperação de elementos difíceis de se mover ou imóveis, como pontes, interior e exterior de navios.



Figura 3: Aplicação da camada de zinco por aspersão térmica.

Fonte: Portal Metálica.

2.1.1.3. Zincagem ou galvanização eletrolítica

Neste método, o zinco é eletroliticamente depositado no material através de uma corrente elétrica, onde a mesma é separada em duas partes por um retificador, a positiva (ânodo) e a negativa (cátodo) (Figura 04). Forma-se uma camada homogênea, fina e muito aderente, que não influi nas propriedades mecânicas do material, a partir de uma solução na qual estão dissolvidos sais do metal que se deseja depositar.

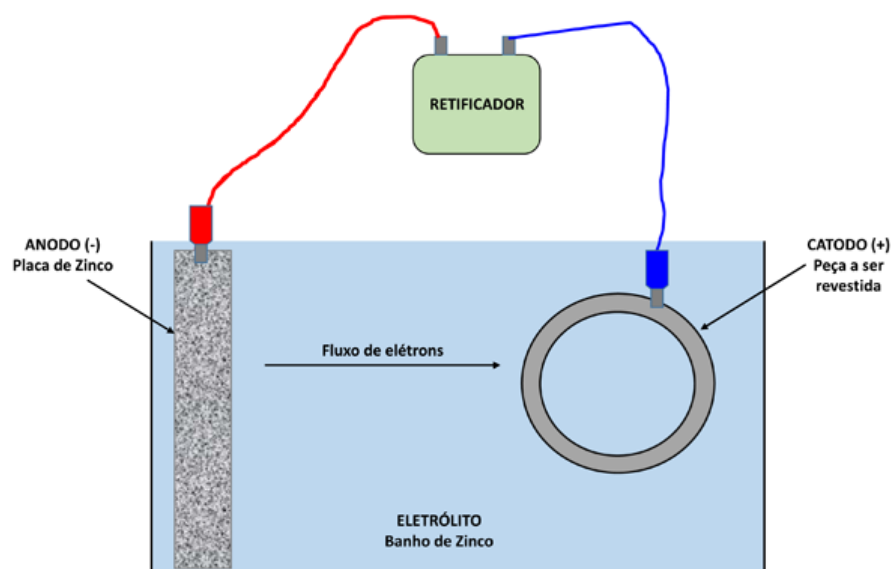


Figura 4: Deposição eletrolítica do zinco. Fonte: Diadema Ltda.

O anodo é onde será posto o zinco, que por sua vez, se diluirá em uma solução eletrolítica e irá ser conduzido até o catodo. Com isso, devido a tensão aplicada, o zinco se depositará sobre a superfície do metal e ali perdurará mesmo sob certas dobras e torções aplicadas ao material.

O aço eletrozincado não apresenta ligas intermetálicas, sendo esse revestimento contido apenas por zinco puro.

A camada de zinco puro possui em torno de 8 a 20 μm , mas depende da densidade de corrente e do tempo de imersão no banho (ZEMPULSKI, 2007).



Figura 5: Diferentes acabamentos da zincagem eletrolítica. Fonte: ZINCOFER.

Como esse modelo de galvanização é foco principal do presente trabalho pois, é o procedimento base para o método da galvanoplastia, o mesmo será detalhado nos itens a seguirem.

2.2. GALVANOPLASTIA

A galvanoplastia é um processo químico que consiste no depósito de finas camadas de um metal sobre superfícies de corpos metálicos ou não, por meios químicos ou eletroquímicos, a partir de soluções aquosas que contêm metais, tais como, o cromo, o níquel, o cobre, o zinco, o cádmio, entre outros, seguidos de enxágues com água para limpeza (COSTA, 1998).

Esse procedimento químico ou eletroquímico é aplicado a vários ramos industriais. Seu mercado é amplo em termos de atividade econômica como na indústria automobilística, na indústria de bijuterias, na construção civil, na indústria de utensílios domésticos, na informática, na indústria de telefonia e na recuperação de objetos decorativos. Portanto, o que mantém esse

ramo da indústria galvânica ativa, são os grandes benefícios que a mesma produz em materiais que passam por esse tipo de procedimento.

2.2.1. Eletrodeposição

A capacidade que alguns materiais têm de conduzirem corrente elétrica chama-se condutividade elétrica. A corrente elétrica é dita como o fluxo ordenado de elétrons, ou seja, cargas elétricas em movimento. A energia elétrica pode ser conduzida de um ponto a outro pela passagem de cargas elétricas sob forma de corrente elétrica, onde a existência da corrente implica na existência de transportadores no qual faz com que a matéria se mova, transportando íons, elétrons, entre outros (ZEMPULSKI, 2007).

No caso de transporte de elétrons, onde ocorre em metais pode-se dizer que é uma condução metálica. Já quando o transporte é de íons (positivos e negativos), que geralmente ocorre em soluções eletrolíticas, é dita como condução eletrolítica.

Na galvanoplastia a corrente elétrica é parte essencial para funcionamento do processo. Na nossa rede elétrica convencional, temos o uso corrente alternada, porém para o processo da galvanoplastia transforma-se em corrente contínua com a ajuda de um retificador, pois com essa transformação se consegue separar as partes positivas e negativas da corrente (ZEMPULSKI e ZEMPULSKI, 2007).

No cátodo coloca-se a peça a ser beneficiada, ou seja, o metal a ser recoberto. No anodo é colocado o metal que fornecerá os íons para a solução. O metal é dissociado em uma alta corrente ou por uma dissolução química em cátions, no qual os cátions que ficam dispersos na solução eletrolítica são convertidos novamente em metal e se depositam na superfície da peça.

2.2.2. Proteção anticorrosiva

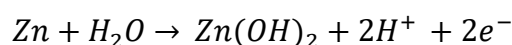
Alguns metais apresentam condições termodinâmicas instáveis e tendem a mudar para condições estáveis quando há formação de óxidos, sais, entre outros. A formação desses óxidos e sais é um processo conhecido como corrosão. Desta forma a corrosão é um processo espontâneo e indesejável.

Uma das formas de proteger e amenizar as incidências de corrosão nos metais é o recobrimento do metal com revestimentos metálicos.

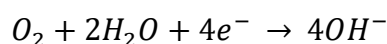
O zinco é o mais indicado e mais utilizado para proteção de superfícies metálicas, mas há outros revestimentos bastante eficazes. O baixo custo e facilidade de aplicação do zinco, faz com que o mesmo seja ainda mais visado. Através de cálculos termodinâmicos e de medidas de potencial, percebe-se que o zinco é bastante reativo e com uma tendência apreciável para se corroer. Na sua aplicação, o zinco sofre corrosão protegendo assim, o metal base.

De acordo com Zempulski e Zempulski 2007, o processo de corrosão do zinco em soluções neutras ou aproximadamente neutras é geralmente acompanhado pela formação de películas de produtos de corrosão nas áreas anódicas do metal. Se as películas são densas e aderentes atuam como barreira impedindo a continuação do ataque.

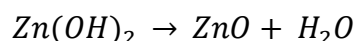
Quando o revestimento de zinco é corroído, primeiro forma-se o hidróxido de zinco, segundo a reação anódica descrita a seguir, o qual cobre a superfície do mesmo.



Como a condutividade do hidróxido é baixa, ele retarda a redução do oxigênio (reação catódica) e suprime a primeira reação:



Contudo, o $\text{Zn}(\text{OH})_2$ desidrata-se dando origem ao óxido de zinco (reação anódica):



Contudo, com o intuito de sempre inovar e o melhorar os revestimentos, observou-se que a desidratação do hidróxido de zinco é inibida pela ligação com o alumínio, o níquel, o cobalto, o ferro, magnésio e o manganês. Com isso o desenvolvimento de novos revestimentos incluindo esses materiais cresce em grande número.

2.3. ETAPAS DA GALVANIZAÇÃO ELETROLÍTICA

Inicialmente, para qualquer procedimento de galvanização, é primordial que se faça a limpeza da peça e garanta que a superfície do material esteja livre de óleo, graxas, tintas, entre outras substâncias, ou seja, que o material esteja completamente limpo. Logo em seguida, o mesmo será submetido a etapas de desengraxe e decapagem, intercaladas por lavagem de água corrente com pH controlado, para remover resíduos que podem ter sido deixados entre os

procedimentos, garantido que um banho não contamine o outro. Com isso, inicia-se o processo de zincagem. Assim, temos:

- Desengraxe;
- Enxague;
- Decapagem;
- Enxague;
- Zincagem;
- Enxague;
- Passivação e acabamento;
- Enxague;
- Secagem;

2.3.1. Desengraxe

Esta etapa tem por objetivo a remoção de substâncias orgânicas da peça que se desejar galvanizar, pois essas substâncias podem atrapalhar o processo de decapagem (próxima etapa), interferindo na ação dos ácidos que serão usados nesse processo e a aderência do zinco ao material (ZEMPULSKI e ZEMPULSKI, 2007).

Para isso, imerge o material em soluções alcalinas e em solvente orgânicos (Figura 6), para remoção de quaisquer resquícios de materiais orgânicos e, em seguida, realiza-se a lavagem da peça.



Figura 6: Imersão do material em soluções alcalinas. Fonte: Portal da Galvanoplastia.

2.3.2. Decapagem

Na decapagem é onde se tem a finalidade de remover as carepas de laminação, ou seja, combinação de sujeira e ferrugem sobre o metal, assim como outros óxidos que estejam presentes na superfície do material. Efetua-se, então, a imersão da peça já desengraxada em banhos ácidos ou faz a remoção por jatos ácidos e, em seguida a lavagem da peça.

Há o controle de condições de temperatura da solução de ácido na qual o metal será inserido, no uso de inibidores, entre outras variáveis utilizadas nesta etapa, para que o metal base seja pouco atacado por esses procedimentos.

Os ácidos utilizados em soluções decapantes podem ser o clorídrico, o sulfúrico, nítrico, fluorídrico e fosfórico. A utilização de cada um desses ácidos vai depender do tipo de metal a ser recoberto, das condições que o mesmo se encontra, assim como qual tipo de revestimento será usado, etc.

Para que a peça chegue ao resultado esperado (Figura 7), necessita-se de um processo bastante cauteloso, pois somente a camada de sujeira, ferrugem e outras impurezas devem ser extraídas como mostrado nas Figuras 8 e 9.



Figura 7: Processo de decapagem. Fonte: TREF STEEL



Figura 8: Material antes da etapa de decapagem.
Fonte: TREF STEEL.



Figura 9: Material após a etapa de decapagem.
Fonte: TREF STEEL.

2.3.3. Zincagem

As etapas realizadas acima, foram etapas de preparação do material. Assim, com o sucesso dessas etapas segue-se o procedimento e se inicia a fase de zincagem. Esta fase consiste na imersão da peça em uma cuba com sais de zinco, no qual a corrente elétrica irá atuar gerando uma reação de oxi-redução que formará o revestimento de proteção (Figura 10). Em seguida ocorre a lavagem da peça.

De acordo com Zempulski e Zempulski 2007, as células de eletrodeposição variam de acordo com a sua geometria (podendo ser verticais, horizontais ou radiais), o ânodo usado (solúvel ou insolúvel) e a natureza do banho (cloreto ou sulfato de zinco). O número e dimensão das células determinam o limite da velocidade da linha para as espessuras mais elevadas. Operam normalmente com densidade de corrente da ordem dos 100A/dm^2 .



Figura 10: Imersão da peça em uma solução de sais de zinco. Fonte: Zinco Forte.

2.3.4. Passivação e acabamento

Para que ocorra logo a fixação da camada protetora, efetua-se a passivação em soluções cromatizantes (Figura 11). Essa passivação gera películas uniformes de cores variáveis dependendo do substrato e da espessura do material, atribuindo proteção anticorrosiva e boa aderência do revestimento (PORTAL METÁLICA).

A passivação também confere a peça um acabamento espelhado. No mercado geral da galvanoplastia, a estética das peças é processo significativo e com ajuda de aditivos como abrillantadores, umectantes e outros produtos que servem para refinar os grãos depositados e garantir uma cobertura de melhor qualidade. Sem os aditivos em geral, as peças teriam aspecto fosco e rugoso (ZEMPULSKI e ZEMPULSKI, 2007).



Figura 11: Passivação da peça Fonte: TREF STEEL.

2.3.5. Secagem

Depois de todas essas etapas haverá uma lavagem e as peças serão encaminhadas para a secagem, onde as maiores secam ao ar livre e as menores em centrifugas para evitar que sequem coladas umas às outras. A Figura 12 mostra como as peças ficam dispostas para a secagem.

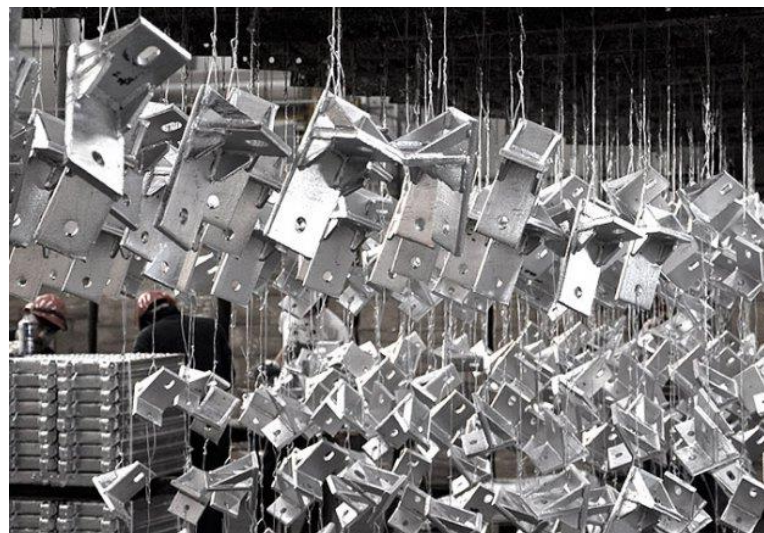


Figura 12: Secagem ao ar livre. Fonte: Galvaza.

2.4. GALVANIZAÇÃO DO ZINCO – NÍQUEL

Este tipo de revestimento é eletrodepositado por processos similares ao do zinco, mas com eletrólito de composição diferente. Geralmente a quantidade de níquel é de 10 a 16 % na liga (JIMENÉZ e SCHMIDT, 2003).

A galvanização do zinco-níquel produz depósitos que podem variar de acetinado a brilhante, tem uma ótima cobertura, além de boa penetração, distribuição de liga e camada, acompanhado de uma formidável resistência à corrosão.

Os revestimentos de zinco-níquel possuem melhores propriedades físicas e eletroquímicas quando comparados com o zinco puro, e foram desenvolvidos para atender exigências ainda maiores que os processos de zinco proporcionam (JIMENÉZ e SCHMIDT, 2003).

O aspecto que torna esse tipo de revestimento único é o fato de que o zinco e o níquel são co-depositados formando um revestimento de liga verdadeiro e não é feito de camadas alternadas. O zinco-níquel tem suas camadas isentas de tensões, são dúcteis e oferecem um perfeito acabamento, onde essas características são derivadas da boa penetração do material (GALVINFONOTE, 2011).

Com isso, a formação de novas ligas de revestimento cresce cada vez mais, assim se adequando aos processos evolutivos dos materiais.



Figura 13: Peças galvanizadas com revestimento Zinco – Níquel. Fonte: Dileta.

2.5. GALVANIZAÇÃO DO ZINCO – FERRO

A galvanização da liga de zinco-ferro é um processo similar à do zinco puro, mas assim como a galvanização do zinco-níquel, usa-se um eletrólito diferente (ZEMPULSKI e ZEMPULSKI, 2007). Normalmente, esse tipo de revestimento é utilizado nas partes mais expostas dos materiais.

Nesta liga de revestimento, apresenta-se um conteúdo de ferro de 0,5 g/L com presença de um agente complexante. Segundo Jimenéz e Schmidt (2003), o agente complexante faz com que se obtenha um depósito de liga regular que utiliza de 0,4 a 0,6% de ferro em todo o espectro de densidade de corrente.

Essa presença de ferro age, principalmente, na interface entre o zinco e a passivação, onde é dissolvido facilmente na conversão química. Esse ferro dissolvido, é depositado na forma metálica – no material que necessita do revestimento – como FeO e Fe₂O₃. A formação do revestimento, ou seja, da película de zinco-ferro se dá por meio de um processo contínuo de oxidação e redução, até que a espessura da sua camada formada impeça isso (JIMENÉZ e SCHMIDT, 2003).

A deposição das camadas de Zinco-Ferro pode ser utilizada em um sistema rotativo ou gancheira. O banho é de fácil aplicação, assim como os depósitos de Zinco puro. Segundo Jimenéz e Schmidt (2003), no ânodo se encontra o material de ferro e o zinco é mantido através de um tanque de dissolução auxiliar. A temperatura desempenha um papel crítico para estabilidade da liga.

O revestimento do zinco-ferro é bastante rígido, na qual é uma característica primordial, já que o zinco-ferro está sendo muito utilizado em camadas externas.



Figura 14: Material galvanizado Zinco – Ferro. Fonte: Electrofer.

2.6. RESISTÊNCIA A CORROSÃO DE METAIS GALVANIZADOS

A excelente resistência à corrosão em diferentes ambientes, a facilidade que se liga quimicamente ao ferro e a capacidade de protegê-lo galvanicamente em pequenas descontinuidades do revestimento tornaram o zinco um dos mais importantes revestimentos usados para proteger o aço da corrosão atmosférica (BATISTA, 2013).

Vista como a mais eficiente entre as técnicas contra a corrosão, principalmente, de peças de aço e ferro fundido, a galvanização pode proporcionar um funcionamento sem manutenções por 75 anos ou mais (GALVANISA, 2017).

O revestimento de zinco protege o aço de três maneiras principais:

- A camada contínua formada sobre a superfície do aço, atua como barreira mecânica e separa o aço da atmosfera, que atua como meio corrosivo. Vale salientar que os níveis de corrosão dependem do meio no qual o material foi submetido, ou seja, variam de comportamento em ambientes rurais, urbanos e marítimos;
- Quando há imperfeições no revestimento, o zinco mostra-se como anodo de sacrifício promovendo uma proteção galvânica evitando assim, que arranhões, bordas cortadas, entre outros defeitos prejudiquem o metal base;
- Quando o zinco é dissolvido na reação química, forma-se hidróxido de zinco que pode precipitar nas áreas expostas do aço formando uma barreira secundária protetora;

A intrínseca resistência à corrosão do zinco está em sua capacidade de formar um denso e aderente filme de produto de corrosão, o qual inibe a corrosão metálica posterior. Inicialmente, a superfície do zinco inalterada oxida em ritmo relativamente rápido, até que seja coberta por um filme de produto de corrosão protetor. A corrosão então continua, mas em taxa bastante reduzida (CONI, 2004).

Como dito no primeiro item acima, os níveis de corrosão variam de acordo com o meio que material se encontra. Os aços galvanizados apresentam maior durabilidade, quando comparado aos que não são sujeitos a este procedimento, mas a sua taxa de corrosão também varia quando expostos a diferentes ambientes. Por exemplo, a taxa de corrosão do zinco é de 10 a 50 vezes menor do que o aço puro quando sujeitos a ambientes rurais e industriais, já em ambientes marítimos é de 50 a 350 vezes.

Os dados apresentados na **Tabela 02** abaixo, representam a durabilidade do aço puro e do aço submetido a galvanização em diferentes ambientes.

Tabela 2: Durabilidade do aço.

Parâmetro	Tipo de atmosfera		
	RURAL	INDUSTRIAL	MARINHA
Taxa de SO ₂ (mg/m ² dia)	86	75	75
Taxa de cloretos (mg/m ² dia)	5 (baixa)	54 (alta)	5 (baixa)
Taxa de corrosão do aço nu (µm/ano)	2 (baixa)	14 (baixa)	300 (muito alta)
Taxa de corrosão do aço galvanizado (µm/ano)	1,2	1,3	5,4
Durabilidade para a camada de 90 µm do aço galvanizado (ano)	78	69	7

Fonte: Portal da galvanização (Citado por Zempulski, 2007).

A taxa de corrosão do aço nu é, consideravelmente, mais alta do que o aço galvanizado, como visto na tabela acima. A resistência à corrosão é uma das propriedades principais para o crescimento da galvanização, já que durabilidade de um material é critério primordial da indústria.

A durabilidade da peça, assim como a resistência dela está ligada, também, a espessura da camada de zinco, bem como a qualidade do mesmo (ZEMPULSKI e ZEMPULSKI, 2007).

2.6.1. Resistência do revestimento de Zinco – Níquel

A liga de zinco-níquel foi desenvolvida essencialmente, para satisfazer os níveis mais altos de resistência à corrosão. E isso faz com que esse revestimento seja o mais utilizado em ambientes marítimos, pois o mesmo é muito corrosivo devido a névoa salina (JIMENÉZ e SCHMIDT 2003).

O revestimento do zinco-níquel produz ligas livres de tensões, oferece um excelente poder de penetração, além de uniformidade na distribuição do revestimento sobre o aço e isso contribui para o seu alto poder de resistência à corrosão (JIMENÉZ e SCHMIDT 2003).

O zinco-níquel também possui resistência a variações de temperaturas de 12 a 15% maior, quando comparado a o revestimento de zinco puro. Esse revestimento consegue suportar a essas altas temperaturas e ainda assim manter sua propriedade de resistência a corrosão intacta (JIMENÉZ e SCHMIDT 2003).

As camadas de níquel eletrodepositadas possuem uma boa resistência como dito, particularmente em meios alcalinos, onde a melhor resistência desse material ocorre com o depósito de 12 a 14% de zinco – níquel (ZEMPULSKI e ZEMPULSKI, 2007).

A proteção dessas ligas é feita por meio da formação de uma barreira física entre o substrato e o meio envolvido, diferentemente da proteção das ligas de zinco que atuam como metal de sacrifício.

2.6.2. Resistência do revestimento Zinco – Ferro

A princípio o revestimento de zinco-ferro foi desenvolvido para aplicações sob pinturas. Contudo, o uso e aplicação desse revestimento cresceu bastante, principalmente no ramo automobilístico devido a sua facilidade de pintura e soldagem por costura, já que os revestimentos de zinco de mesma espessura não atende essas características (GALVINFONOTE, 2011).

Uma das aplicações aprimoradas do zinco-ferro foi a sua resistência a corrosão. As suas propriedades são similares à do zinco puro. Entretanto, suas características anticorrosivas são significativamente superiores quando comparadas a liga de zinco, porém inferior a liga de zinco-níquel (JIMENÉZ e SCHMIDT 2003).

Para que ocorra um aumento notável na resistência a corrosão do revestimento produzido na galvanização do zinco-ferro é essencial que se mantenha ideal a concentração dos metais de zinco e de ferro. Segundo Jimenéz e Schmidt (2003) o teor de ferro desse revestimento pode variar de acordo com especificações, mas geralmente para uma melhor qualidade e resistência a corrosão varia entre 0,4 a 0,6%. Um conteúdo de ferro inferior a 0,2% acarreta a uma deficiente resistência à corrosão, similar à de zinco puro.

Para se manter a resistência à corrosão inalterada, o choque térmico máximo deste revestimento suportado é até 120°C. Quando se aumenta a temperatura, o conteúdo de ferro aumenta e a proteção anticorrosiva diminui (JIMENÉZ e SCHMIDT 2003).

Atualmente, os processos que envolvem o revestimento de zinco-ferro são instrumentos de inovações do mercado, no qual uma das demandas é o aumento de resistência a temperaturas elevadas.

2.7. CORROSÃO DE SUPERFÍCIES

O termo corrosão pode ser dito como reações químicas heterogêneas ou reações eletroquímicas, que ocorrem na interface ou superfície de um material que separa o metal e o meio corrosivo. Para Gentil (2012) pode-se definir a corrosão de um modo geral como a deterioração de um material, geralmente, metálico por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. Geralmente, essas deteriorações de interação físico-química são prejudiciais aos materiais submetidos e acompanhado dela vem os altos custos de tratamento.

Segundo Oliveira (2012) a corrosão também é resultado de uma reação de oxidação de um metal em presença de alguma substância ou elemento que sofre redução. Pode-se associar os processos corrosivos com oxidações de metais, onde esses metais que sofreram a oxidação irão atuar como redutores.

A figura 15 demonstra o processo corrosivo metálico como o inverso ao metalúrgico, onde para produzir as peças e equipamentos industriais os materiais são submetidos à uma grande quantidade de energia.

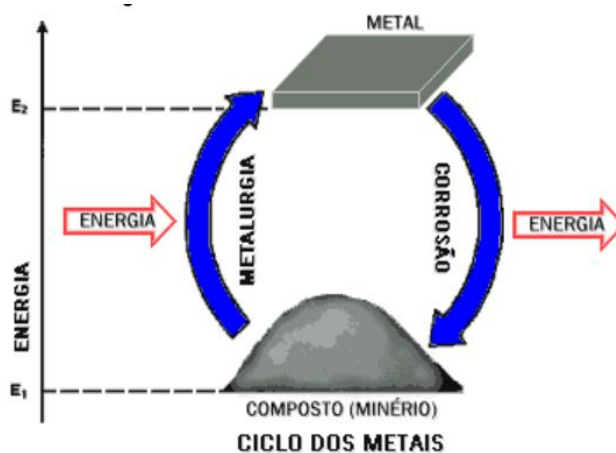


Figura 15: Esquema comparativo admitindo o fenômeno corrosivo como um processo inverso ao metalúrgico.

Com isso, é notado que a corrosão pode ser dita, de mesmo modo, como o processo inverso, ou seja, a perda de energia do material faz com que o mesmo volte ao seu estado natural.

Para Gentil (2012), a corrosão pode ocorrer de diferentes formas e o conhecimento das mesmas é muito importante para o estudo do processo corrosivo.

As formas de corrosão atingem o material de forma localizada ou generalizada. No caso de uma corrosão generalizada, a velocidade de corrosão é aproximadamente igual em toda a superfície, para isso ocorrer é necessário um elevado grau de homogeneidade do ambiente que rodeia o metal. No caso de uma corrosão localizada, o material é mais deteriorado em zonas específicas e vai avançando em profundidade. Para isso ocorrer o metal tem que estar em um ambiente mais heterogêneo (DIAS, 2010).

2.8. TESTES ELETROQUÍMICOS DE CORROSÃO

As técnicas eletroquímicas são utilizadas amplamente para determinação de índices corrosivos, sendo estas um meio fundamental de estudo da corrosão. Os testes oferecem ferramentas para estudo dos mecanismos de corrosão além de fornecer dados com rapidez e, pela sua rapidez, são utilizados no meio produtivo para obtenção de taxas corrosivas de metais em meios específicos, assim como outros dados importantes.

Sendo a corrosão a deterioração de um material por meio químico ou eletroquímico, os testes eletroquímicos são utilizados amplamente para suas análises.

Segundo Queiroz (2014), o estudo do comportamento eletroquímico de um metal ou liga numa solução eletrolítica consiste geralmente em:

- Medir o potencial do material em circuito aberto como uma função do tempo;
- Perturbar eletricamente (polarizar) o sistema (ou aplicando um potencial diferente do espontâneo, ou fazendo passar através da interface metal/solução uma densidade de corrente controlada), e medir a resposta correspondente (ou densidade de corrente ou potencial).

Os principais equipamentos requeridos para a realização dos testes são:

- Eletrodo de referência;
- Potenciostato para manter o potencial constante;
- Fonte geradora de corrente contínua, para manter a corrente constante;
- Célula eletroquímica;
- Material a ser estudado;

2.8.1. Polarização linear

Essa técnica determina a taxa de corrosão e é executada a partir de uma corrente fornecida por um potenciostato. Assim, a corrente é distribuída ao material de estudo, onde o potencial entre este e o eletrodo de referência é controlado.

Segundo Domingues 2010, O método da resistência a polarização linear tem por base a equação de Stern & Geary (1957) para a determinação da taxa de corrosão. Essa equação é muito mais simples para o cálculo da taxa de corrosão.

A equação de Stern & Geary é obtida derivando-se a equação de WagnerTraud (equação 1.1) com relação à ΔE : (WOLYNEC, 2003)

$$\frac{d\Delta i}{d\Delta E} = i_{cor} \left[\frac{2,303}{b_a} \cdot e^{\frac{2,303\Delta E}{b_a}} - \frac{2,303}{b_c} e^{\frac{2,303\Delta E}{b_c}} \right] \quad (1.1)$$

No potencial de corrosão E_{cor} , tem-se que $\Delta E=0$, então a derivada anterior será:

$$\left(\frac{d\Delta i}{d\Delta E} \right)_{\Delta E=0} = 2,303 i_{cor} \left(\frac{1}{b_a} + \frac{1}{|b_c|} \right) \quad (1.2)$$

Ou seja:

$$i_{cor} = \frac{b_a |b_c|}{2,303(b_a + |b_c|)} \frac{1}{R_p} \quad (1.3)$$

Onde,

$$R_p = \left(\frac{d\Delta E}{d\Delta i} \right)_{\Delta i=0} \quad (1.4)$$

Contudo, no método da resistência a polarização linear, aplica-se ao metal uma pequena variação de potencial ΔE (t), definida com relação ao potencial de corrosão ($\Delta E = E - E_{corr}$), para então se medir as correntes resultantes. O R_p é dito como a resistência a polarização e o mesmo, representa o declive, no potencial de corrosão, tangente à curva experimental traçada no gráfico de potencial vs densidade de corrente. Para isso, é necessário haver conhecimento prévio dos declives b_a e b_c .

A representação gráfica para a obtenção da resistência à polarização (R_p) pode ser observada na Figura 16.

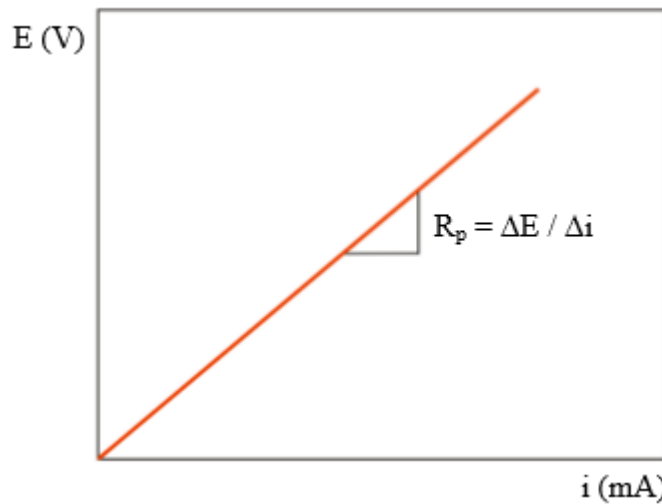


Figura 16: Representação hipotética da resistência a polarização (R_p).

A resistência à polarização linear indica a resistência que um material, exposto a determinado eletrólito, oferece à oxidação quando da aplicação de um potencial externo. Desta forma, um valor alto de R_p indica que o material não é susceptível à corrosão. Um baixo valor indica um alto potencial de corrosão (KAEFER, 2004).

Atualmente esse método foi incorporado, em muitas empresas, nos sistemas de controle automático dos processos, e, quando a corrosividade ultrapassa um determinado nível, é dado um sinal de alarme (WOLYNEC, 2003).

2.8.2. Potencial de corrosão em função do tempo (EVT)

De acordo com Quelhas (2007) apud QUEIROZ (2014), esta técnica consiste em medir a diferença de potencial elétrico entre o eletrodo de trabalho e um eletrodo de referência, imersos no meio de interesse. As medidas de potencial, em associação com técnicas metalográficas e inspeção visual, permitem observar a ocorrência da formação de filme passivo, a ruptura do filme, sua dissolução ou mesmo a ausência de formação de película. A limitação desta técnica é que ela não fornece nenhuma informação a respeito da cinética do processo que ocorre na superfície do metal.

2.8.3. Técnica de Corrosimetria

Citado por Queiroz (2014) a corrosimetria é uma técnica avançada em testes de corrosão. Ela é designada para acompanhar a evolução dos valores de corrosão padrão (R_p , E_{cor} , I_{cor}) em função do tempo. A corrosimetria consiste em aplicar varreduras de potenciais periódicos em torno do potencial de corrosão (E_{cor}). A corrente é medida durante a varredura do potencial. Para cada varredura efetuada, um ajuste linear automático é realizado em torno do potencial de corrosão para determinar a resistência de polarização. Um valor de R_p é obtido para cada varredura, e a evolução do R_p é plotada em função do tempo em um gráfico.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, será abordada a metodologia da pesquisa desenvolvida, observando os materiais e métodos utilizados, assim como, os procedimentos e análises nas quais a amostra foi submetida.

No presente trabalho foram utilizadas amostras do aço 304, onde foram submetidas ao processo galvânico de banhos de ZnNi e ZnFe para, posteriormente, avaliar a resistência a corrosão das amostras por meio de ensaios eletroquímicos. As amostras já se encontravam galvanizadas com ZnNi (Figura 17) e ZnFe (Figura 18) e cortadas em dimensões 5x5 (cm) que equivalem a uma área de 25 cm², para a realização dos testes.



Figura 17: Banho ZnNi.

Fonte: O autor.



Figura 18: Banho ZnFe.

Fonte: O autor.

Os ensaios eletroquímicos deste trabalho foram realizados no Laboratório de Engenharia Eletroquímica (LEEq) da Universidade Federal de Campina Grande. Os testes eletroquímicos verificam o desempenho das amostras quanto à corrosão.

Na avaliação da corrosão metálica da amostra, foi aplicada as seguintes técnicas eletroquímicas:

- Resistência a Polarização (R_p) e Taxa de Corrosão (CR);
- Corrosimetria;
- Potencial de corrosão em função do tempo – EVT;

3.1.1. Resistência a Polarização (R_p) e Taxa de Corrosão (CR)

Após galvanizadas e devidamente dimensionadas, pois a área é um parâmetro bastante significativo, foi soldado em cada amostra um fio de conexão. Na mesma superfície que se soldou o fio, foi passada uma camada de fita isolante líquida (Figura 19) revestindo a solda e a superfície, para que apenas uma das superfícies da amostra tivesse contato com o eletrólito. Na Figura 20 está representado o esquema utilizado para os experimentos de polarização.



Figura 19: Fita Isolante. Fonte: O autor.

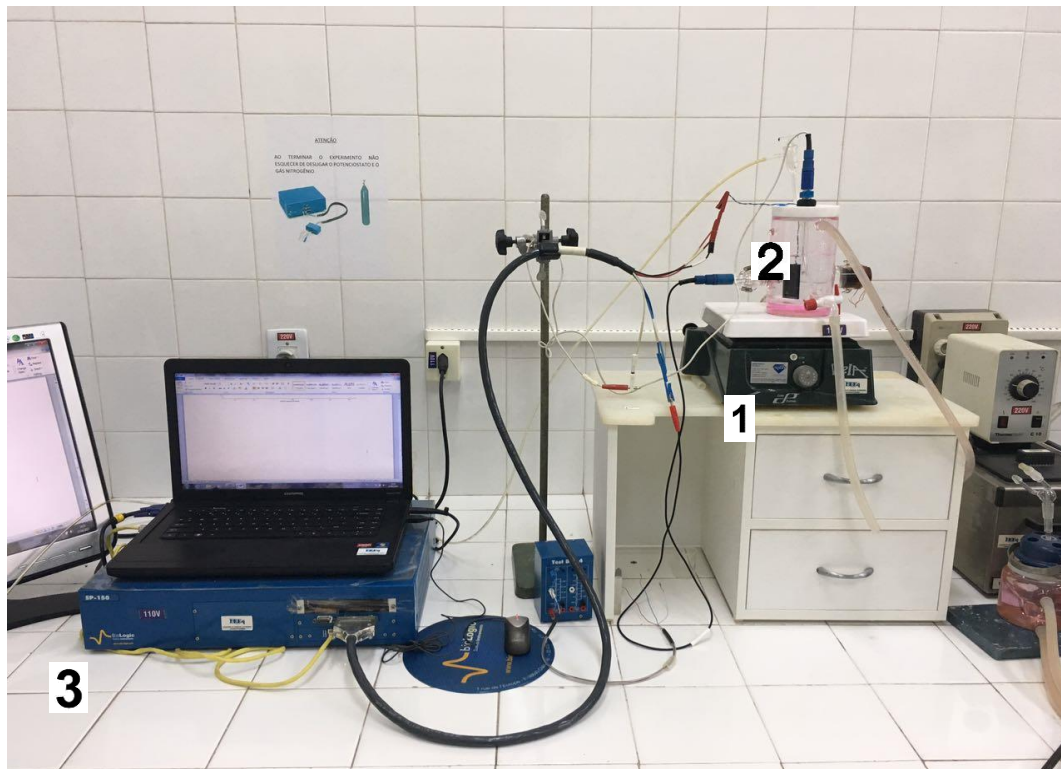


Figura 20: Experimento utilizado nos testes eletroquímicos de corrosão. Fonte: O autor.

O esquema mostrado, identifica um agitador magnético (1) da marca Cole Parmer, a célula eletroquímica com três eletrodos (2) e um pontecioestado (3) da marca BioLogic, modelo SP – 150.

Os testes realizados foram dirigidos em uma célula eletroquímica com montagem de três eletrodos (Figura 21). Utilizou-se um eletrodo de calomelano (SCE) como eletrodo de referência, um contra-eletrodo de platina e um eletrodo de trabalho. O eletrólito utilizado foi uma solução de cloreto de sódio $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$. A célula foi nitrogenada 50 minutos antes do início das análises eletroquímicas, para ocorrer toda a remoção de oxigênio dissolvido no eletrólito. A nitrogenação foi mantida até o final do teste.

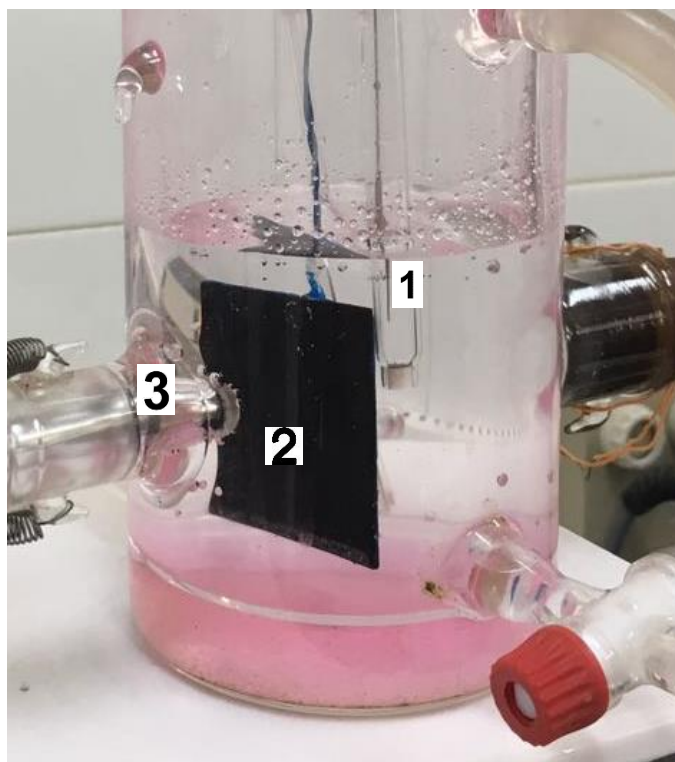


Figura 21: Célula eletroquímica com três eletrodos. (1) Eletrodo de referência (SCE), (2) Eletrodo de trabalho (amostra), (3) Eletrodo auxiliar de platina. Fonte: O autor.

Todos os eletrodos foram conectados diretamente nos terminais do potenciostato e, por meio do EC-Lab Software – Techniques and Applications, version 10.37, obteve-se os dados necessários para a análise corrosiva.

A polarização linear foi feita com uma velocidade de varredura de $0,8 \text{ mV/s}$, a faixa de varredura foi obtida através da norma ASTM G 59 – 97. Para determinação do intervalo de varredura calcula-se um $E_{we} \pm 30 \text{ mV}$. Inicia-se a varredura quando é aplicado um potencial de

30 mV mais negativo a partir do potencial de circuito aberto e termina em um potencial de 30 mV mais positivo.

Este ensaio de polarização linear foi aplicado em duas amostras com banhos galvânicos de ZnNi e ZnFe para meios comparativos.

3.1.2. Cálculos

Os cálculos feitos de resistência a polarização (R_p) foram baseados na equação 1.4. Com isso, a densidade de corrente relaciona-se com a resistência a polarização do coeficiente de Stern-Geary:

$$i_{cor} = 10^6 \frac{B}{R_p} \quad (1.5)$$

O R_p é dado em ohm.cm^2 , i_{cor} é mA/cm^2 e B é em V. O coeficiente de relaciona-se com os coeficientes de Tafel anódico (b_a) e catódico (b_c), como mostra a equação 1.6.

$$B = \frac{b_a b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \quad (1.6)$$

Os coeficientes de Tafel são dados em V. A taxa de corrosão (CR), dada em mm/ano, é determinada pela equação (1.7), onde EW é o peso equivalente das espécies, dado em grama e, ρ a densidade do material dada em g/cm^3 .

$$CR = (3,27) 10^{-3} \frac{i_{cor} \cdot EW}{\rho} \quad (1.7)$$

As equações e cálculos apresentados acima nas equações 1.5, 1.6 e 1.7, estão indicadas na ASTM G 59 – 97. O cálculo do peso equivalente da amostra (EW), foi efetuado de acordo com a ASTM G 102 – 89:

$$EW = \frac{1}{\sum \frac{n_i f_i}{w_i}} \quad (1.8)$$

Onde: n_i é a valência dos elementos constituintes da amostra, f_i é a fração em massa de cada elemento e w_i é o peso atômico dos elementos.

Posterior a obtenção dos dados e com auxílio do EC-Lab Software, foi feito um ajuste com a extrapolação das retas tangentes às curvas de Tafel, assim foi obtido os coeficientes angulares de cada reta (b_a) e (b_c). Com esses dados, é possível calcular a resistência a polarização e, logo após, a corrente de corrosão.

A partir dos valores obtidos de corrente de corrosão (i_{cor}), densidade (ρ) e peso equivalente (EW) de cada amostra, logo após foi feito o cálculo de taxa de corrosão.

3.1.3. Potencial de Corrosão em função do tempo (EVT)

No ensaio de potencial de corrosão em função do tempo (EVT), foi usado uma nova amostra de ZnFe e ZnNi e, assim como no ensaio de polarização, um fio foi soldado a amostra para fazer a conexão com o multímetro. O local da solda foi pintado com o intuito de bloquear o contato do metal da solda e do fio com o eletrólito. As amostras foram colocadas em placas de petri submersas em uma solução de cloreto de sódio 0,2 mol.L⁻¹.

Foram realizadas as medições com um multímetro de precisão da marca Agilent, modelo U1253B e um eletrodo de referência de Prata (Ag/AgCl). Segue uma imagem do esquema experimental para a análise em questão (Figura 22).

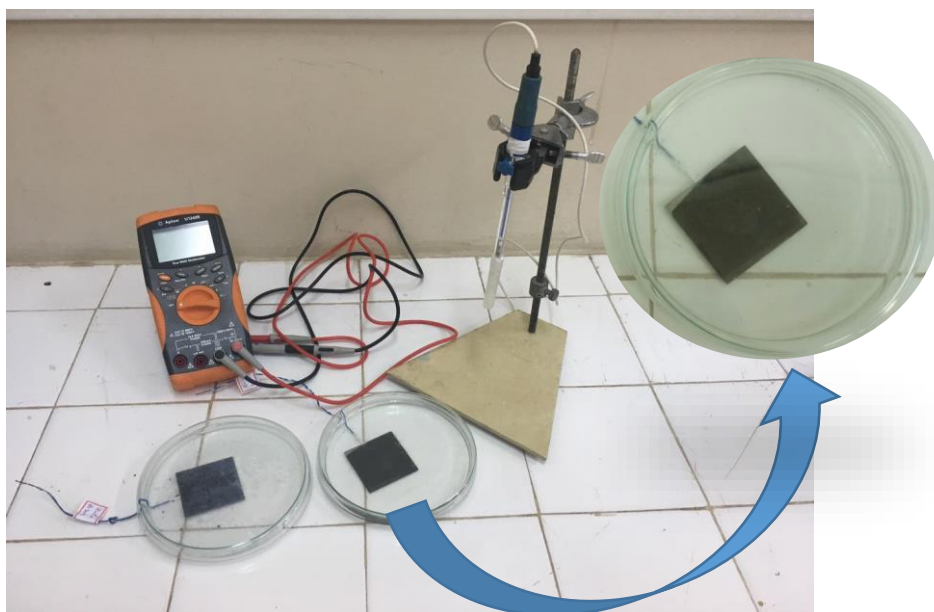


Figura 22: Material utilizado para os testes de potencial de corrosão em função do tempo. Fonte: O autor.

3.1.4. Corrosimetria

O ensaio de corrosimetria foi realizado empregando o mesmo mecanismo e condições funcionais que aquele apresentado na Figura 20. O intervalo de varredura foi calculado a partir do potencial de circuito aberto ($E_{we} \pm 30$ mV). Foram feitas 15 curvas de polarização linear com intervalo de 10 minutos de espera entre uma varredura e outra. Cada curva de polarização linear teve o seu R_p calculado e em seguida plotado um gráfico de R_p (Ohm) versus tempo (minutos).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ANÁLISES ELETROQUÍMICAS DE CORROSÃO

4.1.2. Potencial de Corrosão em função do tempo (EVT)

As variações do potencial eletroquímico de corrosão (EVT) para a amostra de ZnFe e ZnNi, estão representadas nas Figuras 23 e 24.

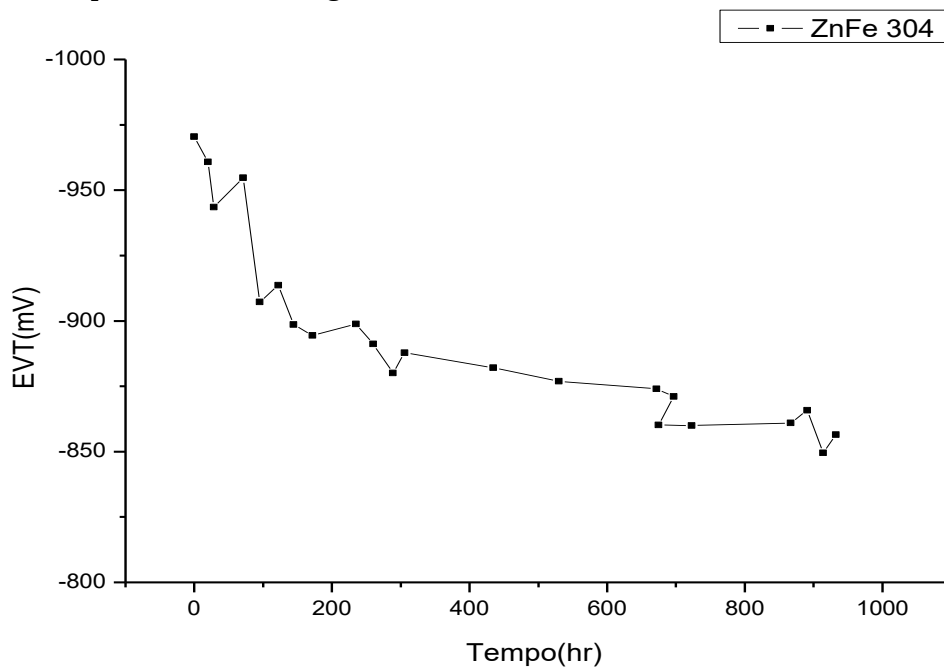


Figura 23: Gráfico de Ewe vs. (Hg/HgSO₄) em função do tempo, em NaCl 0,2 mol.L⁻¹. Amostra galvanizada com ZnFe.

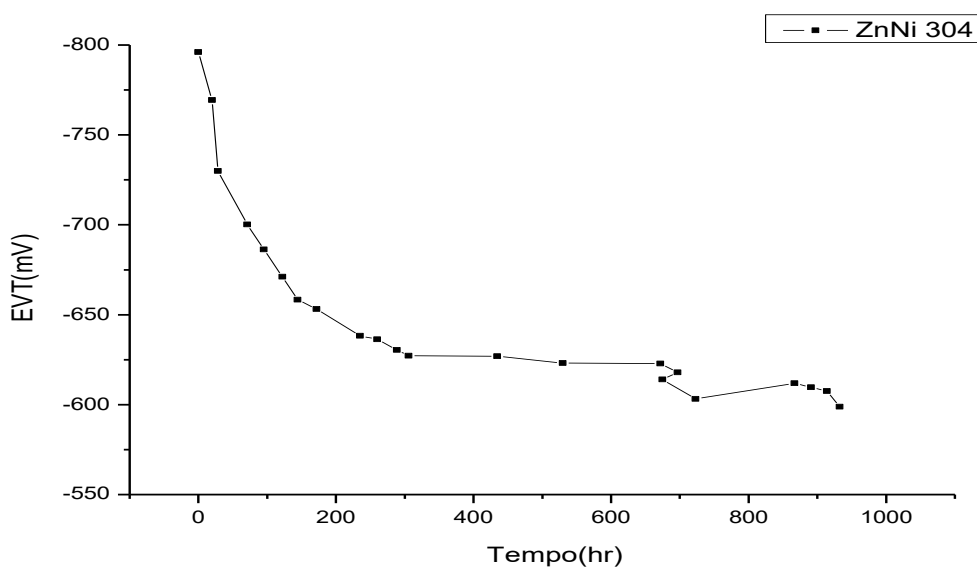


Figura 24: Gráfico de Ewe vs. (Hg/HgSO₄) em função do tempo, em NaCl 0,2 mol.L⁻¹. Amostra galvanizada com ZnNi.

Conforme mostrado na Figura 23 é possível observar que a amostra de ZnFe mostra um potencial inicial de aproximadamente - 970 mV. A amostra mostrou uma diminuição de potencial até a faixa de -875 mV com duração de 220 horas, a partir deste momento a amostra mostrou um comportamento pouco menos variável, tendendo a linearidade. Esse comportamento teve uma duração de 660 horas.

A amostra de ZnNi apresentada na Figura 24 mostra um comportamento um pouco semelhante. Observou-se um potencial inicial em torno de -800 mV e, em seguida a diminuição do potencial até a faixa de -625 mV com um intervalo de tempo de 250 horas, a partir deste momento a amostra mostrou um comportamento que tende a linearidade com duração de 420 hora.

As diferenças entre o comportamento das amostras se mostra pelo fato de uma iniciar a formação da camada passiva mais rapidamente que a outra. E isso acarreta uma diminuição no potencial corrosivo da amostra, já que a camada passiva se comporta como isolante impedindo a transferência de elétrons nas reações de oxidação do metal. Quando comparadas as curvas das amostras uma importante característica é notada, a amostra de ZnFe apresenta uma estabilização final de potencial corrosivo mais alto (-856,5 mV) que a amostra de ZnNi (-598,8), e isto mostra que a formação da camada passiva do ZnFe é mais lenta que a ZnNi.

As duas amostras apresentaram diminuição do potencial de corrosão assim que imergidas no eletrólito, até atingir a sua estabilização definindo a formação da camada passiva sobre a superfície da amostra. A amostra de ZnNi apresenta um potencial inicial menor do que a do ZnFe.

4.1.3. Resistência à Polarização (R_p) e Taxa de Corrosão (CR)

Existe uma diferença de potencial entre o metal e a solução, conhecida como potencial de eletrodo que, medido em relação a um eletrodo de referência, recebe o nome de potencial de circuito aberto (E_{ca}) (SOUZA et al., 2009).

Os potenciais de varredura iniciais (E_I) e finais (E_F) foram determinados com base no potencial de circuito aberto, segundo a ASTM G59-97(2009) – Standart Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements, variando ± 30 mV. Os valores obtidos se encontram na **Tabela 3** abaixo.

Tabela 3: Potenciais da amostra de ZnNi e ZnFe.

<i>Amostra</i>	<i>E_{CA} (V)</i>	<i>E_I (V)</i>	<i>E_F (V)</i>
ZnFe	- 0,991	-1,021	- 0,961
ZnNi	- 0,820	- 0,850	- 0,790

Para se obter os dados relacionados a resistência à polarização é necessário que seja feito uma polarização linear e consequentemente a extrapolação das curvas de Tafel para cada amostra, assim será possível determinar as constantes de Tafel anódica (b_a) e catódica (b_c) que são fundamentais para o cálculo de resistência à polarização.

Na Figuras 25 e na Figura 26 são apresentados os gráficos de polarização linear, respectivamente para a amostra de ZnFe e ZnNi.

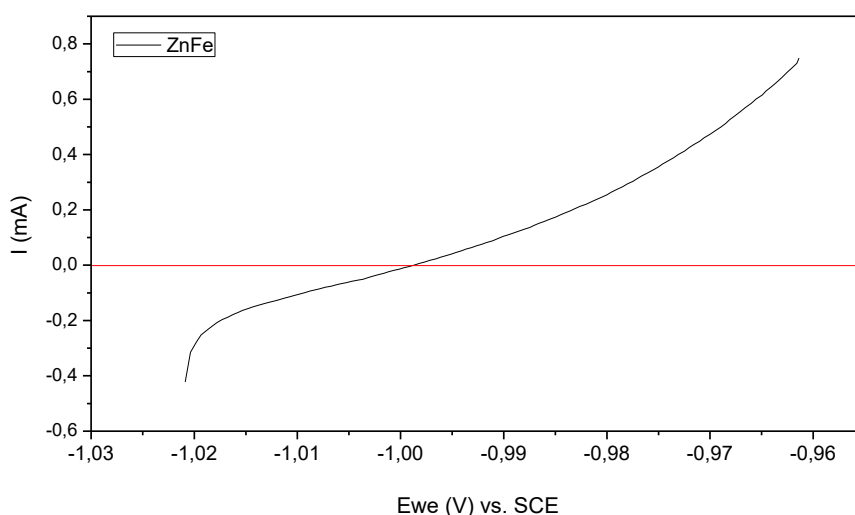


Figura 25: Gráfico de polarização linear em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra de ZnFe.

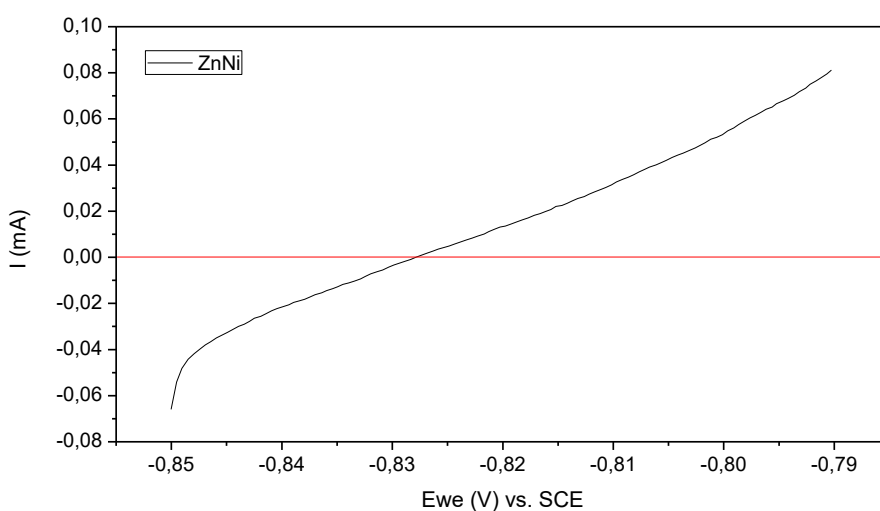


Figura 26: Gráfico de Polarização linear em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra ZnNi.

Estas curvas representam o efeito global de todas as reações que ocorrem no eletrodo de trabalho. No momento em que o potencial aplicado pelo potenciostato é igual ao potencial de

corrosão de cada amostra nenhuma corrente é detectada pelo aparelho, pois neste potencial a corrente anódica é totalmente neutralizada pela corrente catódica. Além disso, tais curvas podem fornecer meios para a medida quantitativa de diversos parâmetros eletroquímicos da corrosão, como taxa de corrosão, declives de Tafel, e outros (WOLYNEC, 2003).

Para se obter os valores de corrente de corrosão, coeficientes de Tafel e potencial de corrosão traça-se uma tangente no ponto onde a corrente é nula ($I = 0$ A) e logo após, aplica-se a função logarítmica. Com isso se obteve as curvas de ZnFe e ZnNi, respectivamente, representadas nas Figuras 27 e 28.

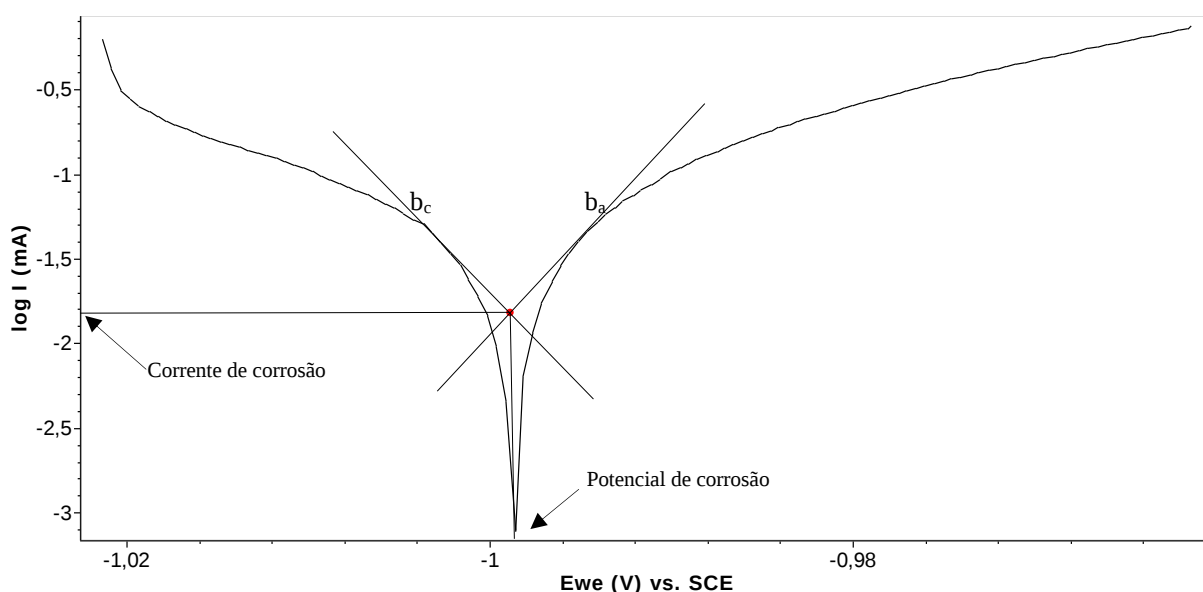


Figura 27: Gráfico representativo das curvas de Tafel em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra de ZnFe.

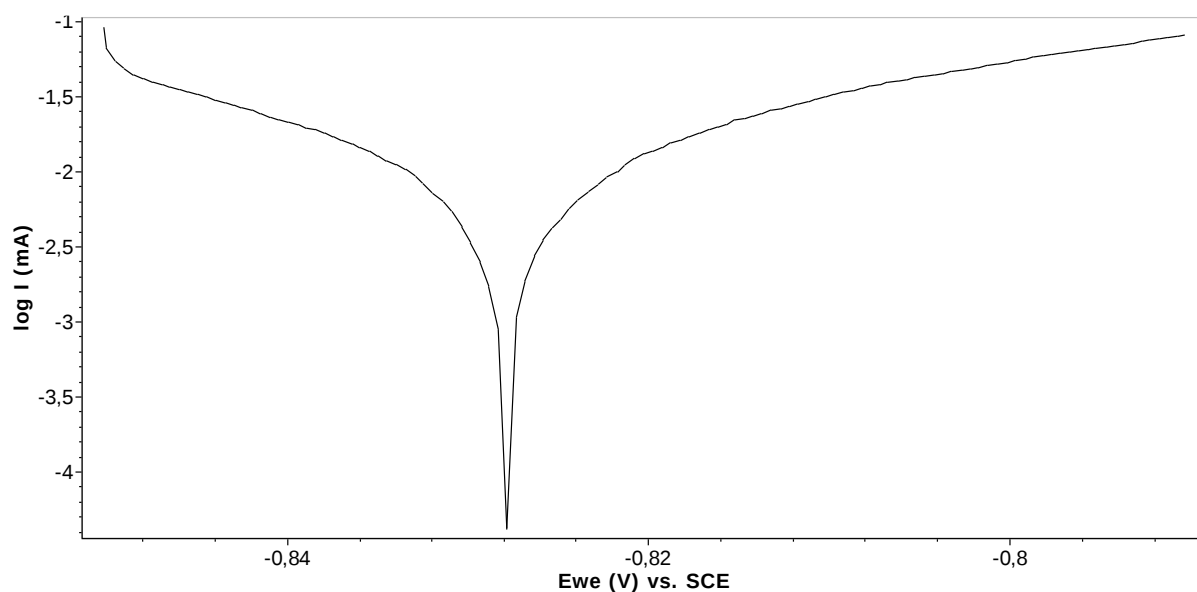


Figura 28: Gráfico representativo das curvas de Tafel em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra de ZnNi.

Baseado no método de extrapolação das retas de Tafel representado nos gráficos (Figuras 27 e 28) anteriores, foram encontradas as constantes de Tafel anódica (b_a) e catódica (b_c). Calculou-se o valor da resistência de cada amostra segundo a lei de Ohm, onde é dita que a razão entre a tensão e a corrente é uma constante conhecida como resistência. Quando se plota um gráfico de corrente (I) versus o potencial (E) há uma relação linear do potencial de ± 30 mV. De acordo com equação de ohm semelhante a uma equação do primeiro grau, a resistência é o coeficiente angular da reta gerada. No caso da polarização linear, quando o mesmo gráfico de potencial versus a corrente é plotado não irá gerar, necessariamente, uma reta como visto nas Figuras 25 e 26. E isso significa que a resistência resultante da polarização não é constante, sendo a mesma variável.

A partir disso, foi possível determinar as correntes de corrosão e os potenciais de corrosão de cada amostra. Os coeficientes de Tafel (b_a e b_c) obtidos estão dispostos na **Tabela 4** abaixo.

Tabela 4: Valores obtidos de b_a e b_c na curva de Tafel.

<i>Amostra</i>	<i>b_a (mV)</i>	<i>b_c (mV)</i>
ZnFe	21,5	24,8
ZnNí	22,2	19,7

O peso equivalente calculado de acordo com ASTM G 102 – 89 (equação 1.8) e as densidades das ligas dispostas na **Tabela 5**.

Tabela 5: Dados obtidos de densidade (ρ) e peso equivalente (EW) das amostras.

<i>Amostra</i>	<i>ρ (g/cm³)</i>	<i>EW (g)</i>
ZnFe	7,505 g/cm ³	33,927 g/mol
ZnNí	8,90 g/cm ³	—

Os dados obtidos para resistência a polarização (R_p), corrente (I_{cor}), potencial (E_{cor}) e taxa de corrosão (CR) estão dispostos na **Tabela 6**.

Tabela 6: Dados obtidos para R_p , I_{cor} e E_{cor} das amostras.

<i>Amostra</i>	<i>R_p (Ohm)</i>	<i>I_{cor} (μA)</i>	<i>E_{cor} (mV)</i>
ZnFe	94,16	2,12	-999,086
ZnNí	575,5	4,957	-827,908

De acordo com a **Tabela 6**, a amostra de ZnNí obteve uma resistência a polarização (R_p) de 575,5 Ohm, enquanto a de ZnFe obteve 94,16 Ohm. A amostra de ZnNí apresenta uma resistência a polarização significativamente maior que a de ZnFe, indicando que ZnFe é mais suscetível a meios corrosivos quando comparada com a ZnNí.

Os dados da amostra de ZnNí não foram todos obtidos com sucesso, pois para se calcular o peso equivalente (EW) da amostra é necessário que se tenha a composição da liga, ou seja, a quantidade de cada elemento que constitui a amostra. Para obter a composição da liga é feito teste em Laboratório, onde não houve disponibilidade a tempo para realização do mesmo. Os dados da amostra de ZnFe foram obtidos no mesmo Laboratório de Engenharia dos Materiais, pois a amostra de ZnFe foi preparada anteriormente da ZnNí e em tempo de disponibilidade do Laboratório.

A partir dos dados obtidos na **Tabela 6**, foi calculado a taxa de corrosão (CR) para a amostra de ZnFe de acordo com a equação de Stern-Geary (ver equação 1.7), mostrada na ASTM G59-97(2009). Os dados obtidos para taxa de corrosão são apresentados abaixo na **Tabela 7**.

Tabela 7: Taxa de Corrosão das amostras.

<i>Amostra</i>	<i>Taxa de Corrosão (CR)</i>
Amostra de Zinco – Ferro	$CR = 3,27 \cdot 10^{-3} \left(\frac{2,12 \cdot 33,97}{7,505} \right)$ $CR = 0,03 \text{ mm/ano}$
Amostra de Zinco – Níquel	$CR = 3,27 \cdot 10^{-3} \left(\frac{4,957 \cdot *}{8,90} \right)$ $CR = \text{não obtido.}$

Como mencionado anteriormente, não é possível calcular a taxa de corrosão da amostra de ZnNí por motivos técnicos. Com isso, torna-se inviável fazer um comparativo entre as amostras de acordo com a taxa de corrosão, mas ainda assim sendo possível obter resultados baseados na resistência a polarização e nos demais testes eletroquímicos.

4.1.4. Corrosimetria

O objetivo da corrosimetria é acompanhar e analisar os valores padrões de corrosão (resistência a polarização, corrente e potencial de corrosão) em função do tempo. Neste teste, plotou-se uma curva de polarização linear a cada 10 minutos, logo após cada uma delas o R_p é calculado. Este procedimento repetiu-se por 15 vezes. Nas Figuras 29 e 30 estão representadas as curvas de corrosimetria referente as amostras de ZnFe e ZnNi respectivamente.

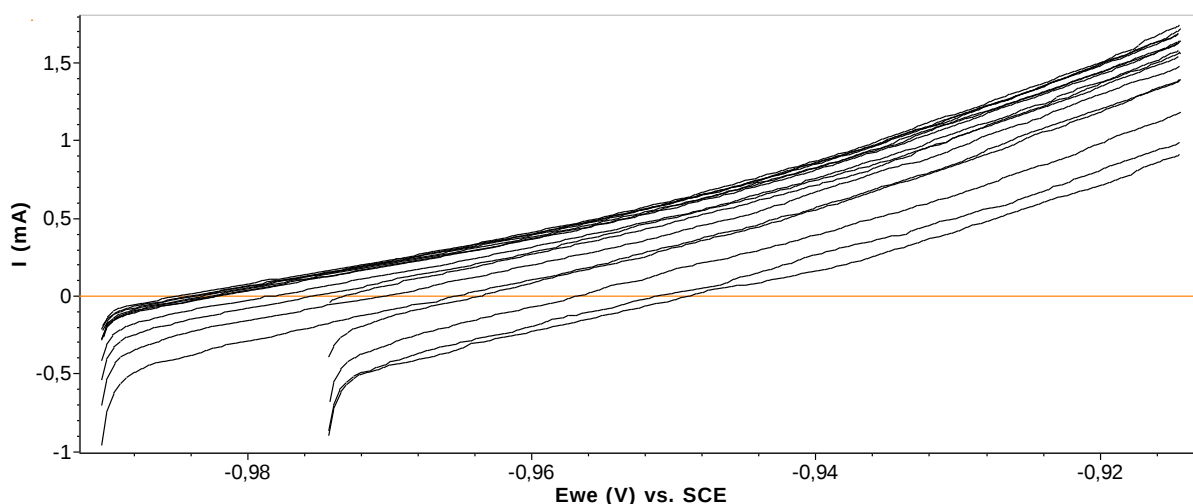


Figura 29: Curvas do teste de corrosimetria em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra do ZnFe.

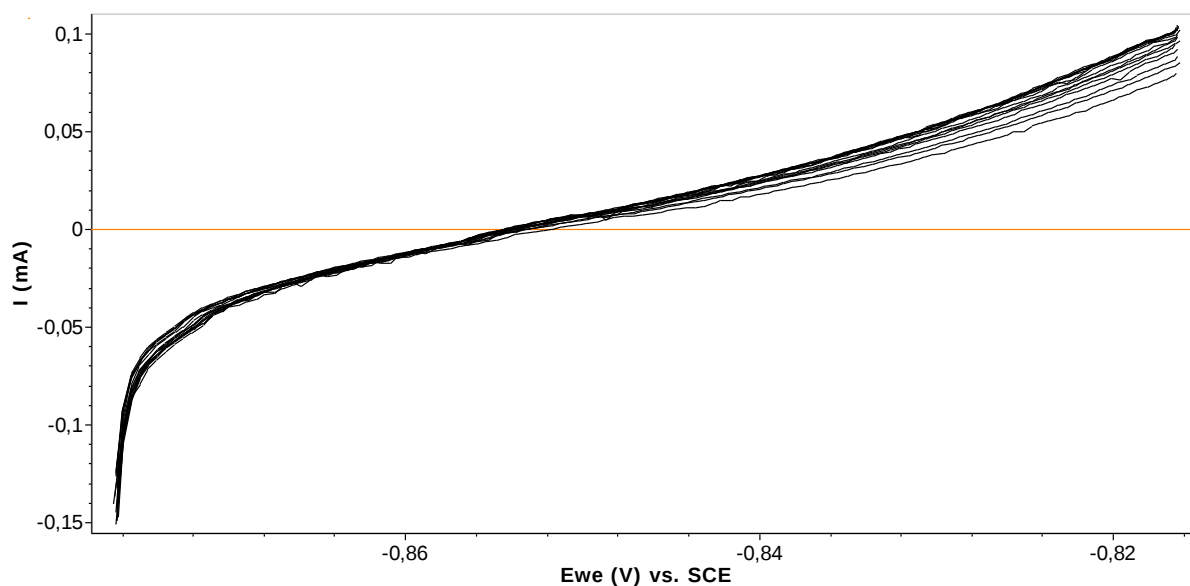


Figura 30: Curvas do teste de corrosimetria em NaCl 0,2 mol.L-1. Amostra do ZnNi.

Obtidos os 15 dados de R_p , em função do tempo, foi gerado um gráfico condizente com cada amostra analisada. Abaixo está representado os gráficos de R_p em função do tempo para a amostra de ZnFe (Figura 31) e ZnNi (Figura 32).

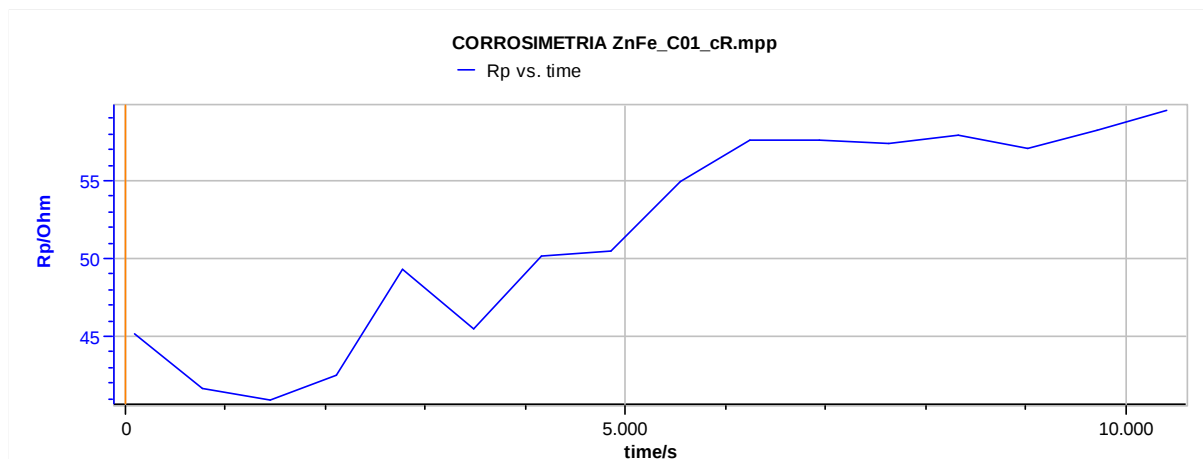


Figura 31: Gráfico de R_p em função do tempo. Amostra de ZnFe.

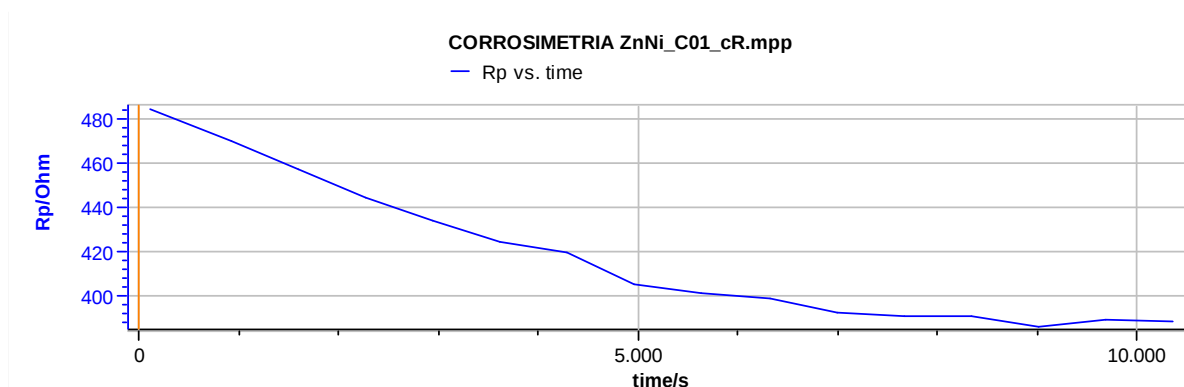


Figura 32: Gráfico de R_p em função do tempo. Amostra de ZnNi.

Segundo Queiroz 2014, a resistência à polarização é inversamente proporcional à capacidade do material se corroer, ou seja, quanto maior os valores da resistência, menor é a capacidade de o material oxidar.

De acordo com os gráficos acima dentre as amostras analisadas, a ZnNi (Figura 31) foi a que mostrou os maiores valores de R_p , apesar de seu decréscimo, tendo como valor inicial 483,5 Ohm e o final de aproximadamente 390,5 Ohm, mostrando que a amostra possui uma alta resistência a corrosão. A amostra de ZnFe iniciou com o valor de 45,5 Ohm e com um comportamento crescente durante os 327 minutos de análises finalizou com aproximadamente 60 Ohm. O aumento da resistência na amostra do ZnFe, pode ser dar pelo fato da formação rápida da camada passiva em cada ciclo do teste de corrosimetria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as análises feitas, foi possível obter informações importantes através dos resultados encontrados. Os resultados apresentados e as discussões pertinentes conduziram às seguintes conclusões:

- De acordo com os testes eletroquímicos, a placa galvanizada com ZnFe apresentou o menor valor de R_p , mostrando uma maior suscetibilidade à processos corrosivos quando compara com a amostra de ZnNi;
- O teste de EVT mostrou que a amostra de ZnFe mostrou o maior potencial corrosivo que a de ZnNi;
- O teste de corrosimetria mostrou que a amostra de ZnNi apresentou valores de R_p , consideravelmente, mais altos que a de ZnFe salientando sua resistência a corrosão;
- De forma geral, este trabalho indicou qual liga dentre as amostras comparadas, apresentou uma melhor ou pior resistência a corrosão, mostrando que o revestimento de ZnNi é o mais adequado para meios muito corrosivos, como solução salina de cloreto de sódio, por exemplo comprovando a fundamentação teórica a respeito do mesmo.

6. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. R. **Processo de eletrodeposição do zinco em peças metálicas**. Campina Grande: Departamento de Química, 2015. 22 p. Dissertação (Graduação).

ALVES, A. C. D. **Estudo da eficiência do processo de Coagulação/Floculação/Adsorção para tratamento de águas residuárias de galvanoplastia utilizando *moringa oleífera***. Toledo: Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste Potiguar, 2012. 68 p. Dissertação (Mestrado).

ASTM G 3 – 89 “**Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Testing.**” Reapproved 1999.

ASTM G 59 – 97 “**Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements.**” Reapproved 2003.

ASTM G 102 – 89 “**Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements.**” Reapproved 1999.

BROWN, T.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9ª ed. Prentice-Hall, 2005.

BUSEMAYER, JOSÉ ALESSANDRO e GEMELLI, ENORI. **Estudo de proteção anticorrosiva em estruturas de aço galvanizado de carrocerias de ônibus para o uso em ambientes agressivos**. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia*, Anhanguera Educacional Ltda, v.08, n.08, p.141-158, dez. 2013.

CAMPANHER, Cirano Gewehr. **Otimização experimental em processos de galvanização de arames em camada pesada**. 2009. 97 f. DISSERTAÇÃO - Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2009.

CONI, NICODEMOS HENRIQUE DA SILVA. **Estudo das Propriedades Mecânicas do Aço Zincado por Imersão à Quente e Galvalume produzidos na CSN-PR**. 2004. 84 f. Universidade Federal do Paraná, CURITIBA, 2004.

COSTA, C. A. **Sorção de Íons Cobre, Níquel e Zinco com o Rejeito do Beneficiamento de Carvões e Outros Materiais Alternativos**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 1998. 64 p. Tese (Mestrado).

COSTA, Josiane Soares. **Estudo do revestimento nano cerâmico à base de Zr no aço zincado por eletrodeposição**. 2011. 52 f. DISSERTAÇÃO. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.

DIAS, C. A. **Corrosão do cobre em amostras de solo de diferentes graus de agressividade**. Lisboa, 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Química Tecnológica) - Departamento de Química e Bioquímica, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2010.

DILETA, **Galvanização Zinco Níquel**. Disponível em: < <http://www.dileta.com.br/galvanizacao-zinco-niquel> >. Acesso em 14 de abril de 2017.

DOMINGUES, HELLEN CRISTIANE NUNES. **Estudo do comportamento eletroquímico do aço carbono, em meio de bicarbonato de sódio e gás carbônico, utilizando a técnica do ruído eletroquímico**. 2010. 211 f. Universidade Federal do Paraná, CURITIBA, 2010.

ELETROFER, **Zinco Ferro**. Disponível em: < http://electrofer4.com/?page_id=127&lang=pt >. Acesso em 20 de abril de 2017.

FERNANDES DE OLIVEIRA, PLYCIA. **Estudo da corrosão nos componentes metálicos dos isoladores de vidro das linhas de transmissão de alta tensão**. 2014. 66 f. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2014.

GALVANOPLASTIA DIADEMA, **Zincagem Eletrolítica**. Disponível em: < <http://www.galvanoplastiadiadema.com.br/index.php/processos/banhos/92-zincagem-eletrolitica> >. Acesso em 05 de março de 2017.

GALVANOPLASTIA, **Docslide**. Disponível em: < <http://docslide.com.br/documents/galvanoplastiapdf.htm> >. Acesso em 14 de fevereiro de 2017.

GALVANISA, **Galvanização**. Disponível em: < <http://www.galvanisa.com.br/produtos-e-servicos/galvanizacao> >. Acesso em 28 de fevereiro de 2017.

GALVASA, **Processo de Galvanização**. Disponível em: <<http://www.galvaza.pt/pt/galvanizacao/processo-galvanizacao/>>. Acesso em 15 de abril de 2017.

GALVINFONOTE. **Ensaio da Névoa Salina**. *Revista GalvInfo Center - Um programa do International Zinc Association*, v.1.1, n.3.4, janeiro de 2011.

GALVINFONOTE. **O processo de eletrogalvanização contínuo para chapas de aço**. *Revista GalvInfo Center - Um programa do International Zinc Association*, v.1.1, n.2.2, janeiro de 2011.

GALVINFONOTE. **Corrosão Eletrolítica/Galvânica em Chapas Galvanizadas (incluindo Aresta de Corte)**. *Revista GalvInfo Center - Um programa do International Zinc Association*, v.1. n.3.4, janeiro de 2013.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6ª.ed. Rio de Janeiro: afiliada, 2012.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JIMENÉZ e SCHMIDT, Alex e H. **Eletrodeposição. Propriedades e aplicações técnicas dos processos de Zinco-Liga**. *Revista Tratamento de Superfície*. n. 117, março de 2013.

KAEFER, L. F. **Análise do comportamento eletroquímico de revestimentos de carbetto de tungstênio cimentados obtidos por aspersão térmica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

LUCENA, M. de P. P. **Estudo de parâmetros de processo de pregos comum visando melhor resistência a corrosão**. Rio Grande do Sul: Escola de Engenharias de Materiais, 2010. 47 p.

MANUAL DE SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO. **Indústria galvânica**. SESI: Departamento Regional de São Paulo, 2007.

METAL PLANESTRUTURAS, **Tratamento de Superfícies**. Disponível em: <<http://www.metalplaneestruturas.com.br/processos/fabricacao/tratamento-de-superficies>>. Acesso em 13 de fevereiro de 2017.

OLIVEIRA, A. R. **Corrosão e tratamento de superfície**. Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, p.104, 2012.

OLIVEIRA, Danúbio Leonardo Bernardino de. **Estudo do processo galvânico do zinco alcalino sem cianeto na indústria metarlúgica**. 2014. 25 f. DISSERTAÇÃO. Universidade estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, 2014.

OLIVEIRA, ANTÔNIO ROBERTO DE. **Corrosão e tratamento de superfície** — Belém: IFPA; Santa Maria: UFSM, 2012. 104p

PORTAL DA GALVANOPLASTIA, **Desengraxante**. Disponível em: <
<http://www.portaldagalvanoplastia.com.br/galvanoplastia/desengraxante/importancia-da-limpeza-de-pecas-processo-de-eletr deposicao.html>>. Acesso em 09 de abril de 2017.

PORTAL METÁLICA, **Metálica**. Disponível em: <
http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php>. Acesso em 14 de fevereiro de 2017.

PASQUALINI, A. **Estudo de caso aplicado a galvanoplastia**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2004.

QUEIROZ, Marcelo Batista de. **Estudo comparativo da corrosão em grades utilizadas em baterias de chumbo-ácido, formadas em processos de fundição e laminação**. 2014. 141 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade federal de campina grande. Campina Grande.

QUELHAS, K. A. S. **Estudo da corrosão do nióbio em meio Metanólico**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro – RJ, 2007

SOUZA, Amanda R. et al. **Medidas de potencial de circuito aberto: um experimento para o ensino de Eletroquímica**. In: REUNIÃO ANUAL SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32. 2009, Fortaleza. **Reunião**. Fortaleza: Sbq, 2009. p. 32 - 32. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cdrom/32ra/resumos/T1040-1.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2014.

REPOSITORIO UFSC, **Handle**. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/79857>>. Acesso em 10 de fevereiro de 2017.

TREF STEEL, **Decapagem.** Disponível em: < <http://www.trefsteel.com.br/servicos/decapagem/index.php> >. Acesso em 15 de abril de 2017.

ZEMPULSKI, L. N., ZEMPULSKI, M. F. S. **Galvanização eletrolítica, DOSSIÊ TÉCNICO.** Paraná: Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007. 21 p.

ZINCOFER, **Zincagem Eletrolítica.** Disponível em: < <http://www.zincoferzincagem.com.br/servico-1.html> >. Acesso em 05 de março de 2017.

ZINCO FORTE, **Processo de Zincagem.** Disponível em: < <http://zincoforte.com.br/> >. Acesso em 15 de abril de 2017.

WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão** - São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.