



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CÂMPUS CARAÚBAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

JEFFERSON KENEDE JALES DANTAS

**ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DE UMA LIGA
METÁLICA (AÇO 1020) REVESTIDA COM Zn/Ni E NÍQUEL**

CARAÚBAS – RN

2019

JEFFERSON KENEDE JALES DANTAS

**ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DE UMA LIGA
METÁLICA (AÇO 1020) REVESTIDA COM Zn/Ni E NÍQUEL**

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
2019

© 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.

D192 Dantas, Jefferson Kenede .

ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTENCIA A CORROSAO
DE UMA LIGA METALICA (ACO 1020) REVESTIDA COM

Zn/Ni E NIQUEL / Jefferson Kenede Dantas. - 2019.

36 f. : il.

Orientadora: Prof. Dr. Marcelo Batista de
Queiroz.

Coorientadora: Prof. Dr. Eudésio Oliveira
Vilar.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de --Selecione um
Curso ou Programa--, 2019.

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

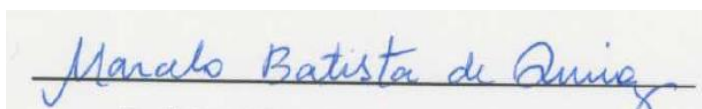
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidad

JEFFERSON KENEDE JALES DANTAS

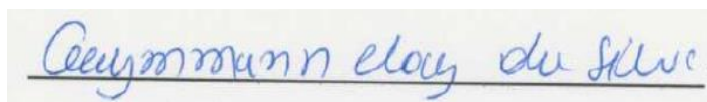
**ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA A CORROSÃO DE UMA LIGA
METÁLICA (AÇO 1020) REVESTIDA COM Zn/Ni E NÍQUEL**

AVALIADO EM: 21/03/2019

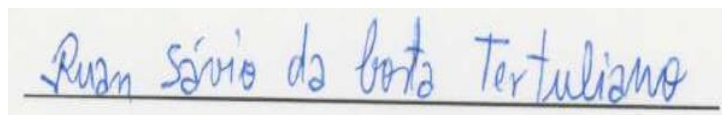
BANCA EXAMINADORA

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored background. The signature reads "Marcelo Batista de Queiroz" and is written in a cursive style.

Prof. Dr. Marcelo Batista de Queiroz
Orientador - UFERSA

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored background. The signature reads "Guymmann Clay da Silva" and is written in a cursive style.

Profª. Dra. Guymmann Clay da Silva
Membro Interno – UFERSA

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored background. The signature reads "Ruan Savio da Costa Tertuliano" and is written in a cursive style.

Prof. Mestre. Ruan Savio da Costa Tertuliano
Membro Interno - UFERSA

CARAÚBAS – RN

2019

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por ter me dado coragem e forças para poder está concluindo uma nova fase em minha vida e conquistando os meus objetivos.

Agradeço a minha família que sempre me apoiou e me ajudou, que sem dúvidas é minha base para minhas conquistas, meu pai, Francisco Edson, minha mãe, Lucivanda Jales, e minha irmã, Jessica Jales.

Ao meu amigo e orientador o professor Marcelo Queiroz que sempre vem me ajudando bastante na minha graduação. Agradeço pela sua paciência, esforço e ensinamentos para o trabalho ser realizado.

A minha namorada Roberta Raiany que sempre esteve comigo durante esse período me apoiando.

A minha amiga Renata Marinho, por me ajudar quando precisei.

Ao meu co-orientador, professor Eudésio Vilar pela sua paciência e ajuda nos aprendizados e conselhos dados durante a realização do trabalho e por sua gentileza em disponibilizar o Laboratório de Engenharia Eletroquímica (LEEq) para que ocorresse a realização do trabalho.

Agradeço a Márcia Cristina pelos ensinamentos e orientações durante a realização do trabalho no Laboratório de Engenharia Eletroquímica (LEEq).

A todos meu muito obrigado.

*“O insucesso é apenas uma oportunidade
para recomeçar com mais inteligência”.*

Henry Ford

RESUMO

Galvanoplastia é um método utilizado para revestir um metal com outro formando uma fina camada, esta camada tem como finalidade fazer com que o metal base a ser revestido não tenha contato com o meio corrosivo (eletrólito), além disso, tem finalidade decorativa, ter uma resistência ao atrito e trazer a recuperação do material desgastado. O processo corrosivo prejudica a resistência mecânica, a condutibilidade elétrica e outras características como a transmissibilidade térmica, coeficientes de dilatação e de contração. Muitos metais são expostos a umidade, a salinidade e variações de temperaturas que são parâmetros para que venha a ocorrer esse processo corrosivo. Este trabalho tem como finalidade fazer um estudo comparativo de um metal a ser revestido por níquel e Zn/Ni, tal estudo será analisado através de testes eletroquímicos, apresentando qual revestimento é mais resistente a corrosão. Os ensaios de corrosão para as amostras foram potencial de corrosão em função do tempo – EVT e o de corrosimetria. De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que o revestimento do aço 1020 com o Níquel metálico é a amostra mais resistente a corrosão quando comparado com a amostra do mesmo metal usado com substrato revestido com Zn/Ni.

Palavras – chave: Corrosão; Galvanoplastia; Testes eletroquímicos.

ABSTRACT

Galvanoplasty is a method used to coat a metal with another forming a thin layer, this layer has the purpose of making the base metal to be coated does not have contact with the corrosive medium (electrolyte), in addition, it has decorative purpose, to have a resistance to the friction and bring the recovery of worn material. The corrosive process impairs mechanical strength, electrical conductivity and other characteristics such as thermal transmissibility, expansion and contraction coefficients, and alters the appearance of materials. Many metals are exposed to moisture, salinity and temperature variations that are parameters for this corrosive process to occur. The purpose of this work is to make a comparative study of a metal to be coated with nickel and Zn / Ni, this study will be analyzed through electrochemical tests, showing which coating is more resistant to corrosion, the corrosion tests for the samples were potential of corrosion as a function of time - EVT E and that of corrosimetry. According to the results, it was possible to conclude that the coating of 1020 steel with Nickel Metal is the most corrosion resistant sample when compared to the sample of the same metal used with Zn / Ni coated substrate.

Keywords: Corrosion; Electroplating; Electrochemical tests.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos Específicos.....	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1 Galvanoplastia.....	13
3.1.1 Etapas da Galvanoplastia.....	14
3.1.2. Eletrodeposição.....	15
3.2. Revestimentos de Níquel.....	16
3.3. Revestimentos de Zn/Ni.....	18
3.4. Corrosão.....	19
3.4.1. Testes Eletroquímicos de Corrosão.....	22
3.4.1.1. Técnica do EVT.....	23
3.4.1.2. Técnica da Corrosimetria.....	23
4. METODOLOGIA DA PESQUISA.....	24
4.1. Preparação das Amostras.....	24
4.2. Processo de Eletrodeposição.....	24
4.2.1 Etapas da Eletrodeposição.....	24
4.3. Análises Eletroquímicas em Corrosão.....	26
4.3.1 A técnica do EVT.....	26
4.3.2. A técnica da Corrosimetria.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. Preparação das Amostras.....	29
5.2. Análises Eletroquímica em Corrosão.....	30
5.2.2 Corrosimetria.....	31
6. CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do processo de eletrodeposição.....	14
Figura 2: Molde de lingotamento contínuo revestido em níquel.....	17
Figura 3: Peças galvanizadas com revestimento Zn/Ni.....	19
Figura 4: Esquema comparativo admitindo o fenômeno corrosivo como um processo inverso ao metalúrgico.....	20
Figura 5: Modelo da corrosão de armaduras no concreto.....	21
Figura 6: Desengraxe Químico.....	25
Figura 7: Desengraxe Eletroquímico.....	25
Figura 8: Esquema da Eletrodeposição.....	26
Figura 9: Material utilizado para os testes de potencial de corrosão em função do tempo....	27
Figura 10: Sistema experimental utilizado nos ensaios eletroquímicos de corrosão.....	28
Figura 11: Amostras de aço 1020 preparadas para serem revestidas. (a) Parte frontal da amostra. (b) Parte posterior isolada.....	29
Figura 12: Amostr após o revestimento. (a) Níquel metálico e (b) Liga Zn/Ni.....	29
Figura 13: Gráfico de E_{we} VS. SCE em função do tempo. Amostras de aço 1020 revestidas com Níquel metálico e Zn/Ni.....	30
Figura 14: Gráfico de R_p em função do tempo (Amostra – Níquel).....	31
Figura 15: Gráfico de R_p em função do tempo (Amostra – Zn/Ni).....	32

1. INTRODUÇÃO

Segundo Gentil (2012), a corrosão pode ser definida como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente associado ou não a esforços mecânicos. Ainda segundo o autor a degradação oriunda entre a interação físico-química do material e o meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, sendo estas, desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso.

A corrosão tem por naturalidade ser espontânea, pois os metais estão submissos a transformações constantemente, os materiais metálicos ao longo do tempo vão perdendo sua durabilidade e deixando de ser útil. Para evitar a corrosão, alguns métodos podem ser empregados, um deles é a galvanoplastia que tem como finalidade recobrir um material metálico com outro por meio da eletrólise, esta técnica permite se conseguir uma camada fina do material, evitando que ocorra uma deposição em excesso. O processo ocorre quando o metal a ser protegido é colocado como catodo e o anodo é o material que vai se depositar no catodo, necessita-se de uma corrente elétrica contínua para que possa ocorrer esse processo. 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 contém metais, tais como, o cromo, o níquel, o cobre, o zinco, o cádmio, entre outros, seguidos de enxágues com água para limpeza (COSTA, 1998).

Hoje muitas estruturas metálicas precisam de uma proteção contra a corrosão, a preocupação com essas estruturas aqui no Brasil começou com a Petrobrás ao explorar águas profundas para encontrar petróleo com instalações de investimentos vultosos onde uma perda da eficiência ou utilidade do metal, levaria a um grande prejuízo, assim procurar meios de combater a corrosão nas estruturas metálicas passou a ser prioridade, uma maneira de proteger o metal é por revestimento de níquel no qual o mesmo tem por finalidade recobrir a parte metálica, deixando com uma boa resistência a corrosão. Esse processo ocorre quando o níquel é colocado como anodo em uma solução aquosa de sais de níquel ligados a uma corrente contínua fazendo com que o mesmo seja depositado no catodo (que é a peça a ser recoberta).

O uso de metais ou ligas metálicas pelo o homem é bastante comum em obras, estruturas, máquinas, ferramentas dentre tantas outras aplicações. Uma das ligas metálicas

mais utilizadas é o aço, porém esta liga não é resistente o bastante em determinados meios corrosivos, ficando susceptível a deterioração por corrosão.

Uma das principais preocupações da indústria é a diminuição da vida útil de partes metálicas que compõe suas estruturas, um dos fatores que acarretam essa diminuição é corrosão que gera o desgaste do material gerando assim problemas estruturais, como a redução da resistência das partes metálicas, assim comprometendo a segurança da estrutura e gerando altos custos com a substituição dessas partes, afetando também a parte estética da estrutura.

Com o crescimento de grandes indústrias, os problemas de corrosão são frequentes e a substituição de algumas peças metálicas por outras acarretam um certo custo, que dependendo das condições podem ocorrer gastos onerosos, outro problema são os custos de manutenção para estar protegendo o metal, em virtude desses fatos é conveniente ter o aperfeiçoamento de métodos para evitar a corrosão, resultando em aumento da vida útil da estrutura metálica, e assim, diminuindo os custos em manutenção e substituição de peças.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é realizar um estudo comparativo da resistência a corrosão da liga metálica (aço 1020) revestida com Zn/Ni e Níquel Metálico.

2.2. Objetivos Específicos

- Preparar as amostras do metal usado como substrato (aço 1020);
- Realizar o pré-tratamento das amostras antes da cobertura;
- Fazer a cobertura das amostras através da galvanoplastia com as ligas Zn/Ni e Níquel Metálico;
- Realizar os ensaios eletroquímicos em corrosão para posterior estudo comparativo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Galvanoplastia

A história da Galvanoplastia iniciou quando, em escavações arqueológicas na Itália, foram encontrados vasos decorados com lâminas de chumbo, estatuetas recobertas por cobre e pontas de lança douradas que evidenciam a utilização de revestimento por metais desde 1.000 a.C. (CASAGRANDE, 2009).

Isso revela que a galvanoplastia é um ramo da indústria que vem sendo usado desde a antiguidade com o objetivo de revestir a superfície de objetos, conferindo-lhes maior resistência e beleza, protegendo-os contra a corrosão e alterando suas dimensões (CASAGRANDE, 2009).

Galvanoplastia é um método utilizado para revestir um metal com outro formando uma fina camada, esta camada tem como finalidade fazer com que o metal base a ser revestido não tenha contato com o meio corrosivo (eletrólito), além disso, tem finalidade decorativa, ter uma resistência ao atrito e trazer a recuperação do material desgastado.

A galvanoplastia é um ramo da indústria metal-mecânica dedicada ao tratamento de superfícies metálicas ou plásticas com diversos elementos, como: cádmio, cobre, níquel, estanho, ouro, prata, cromo ou zinco, mediante processos químicos ou eletrolíticos (PASQUALINI, 2004). 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 (CORTEZ, 2012).

A tecnologia galvânica permitiu maior acesso ao brilho e à cor dos metais nobres, como ouro, possibilitando o atendimento dos anseios de muitos em relação a aparência dos objetos (CORTEZ, 2012).

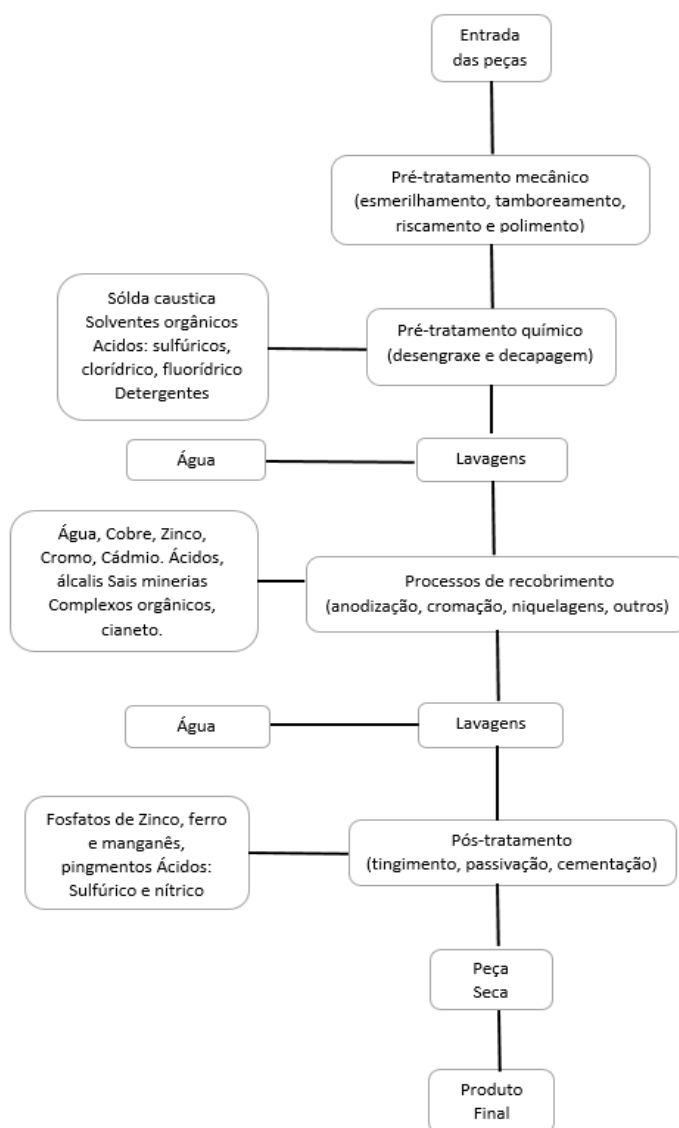
Um dos metais a ser depositado com finalidade de proteção e estética é o níquel, várias indústrias já trabalham bastante com este processo, não só com recobrimento de níquel, mas também utilizando prata, ouro, cromo estanho dentre outros. Em termos econômicos é uma maneira bem viável pois tem como conseguir uma camada bem fina do material a ser depositado evitando assim o excesso do mesmo, alguns metais são utilizados para esse tipo de revestimento como ouro, prata, cobre e níquel. Neste processo, o material a ser protegido é colocado como catodo em uma célula eletrolítica, onde o eletrólito contém

um sal do metal a ser usado no revestimento podendo o anodo ser também do metal a ser depositado.

3.1.1. Etapas da Galvanoplastia

A galvanoplastia possui uma série de etapas preparatórias que devem anteceder o processo de eletrodeposição propriamente dito, conhecido como pré-tratamento (mecânico e químico) e a etapa final de eletrodeposição (BARROS, 2016). A Figura 1 mostra as etapas da galvanoplastia.

Figura 1: Etapas do processo de eletrodeposição.



Fonte: Adaptado de Barros (2016).

O processo inicia com a limpeza das peças pois é muito importante para que não venha afetar a aderência e a qualidade das peças, começando com a limpeza mecânica como o polimento e depois algumas etapas serão seguidas para ocorrer o recobrimento do material:

- ✓ **Desengraxe químico:** Esta etapa consiste na eliminação de óleos e óxidos presentes na superfície do metal. É usada uma combinação de um agente desoxidante e um desengraxante alcalino. É um produto econômico, devido ao seu baixo consumo, não leva a formação de fumos ou vapores corrosivos, não ataca o metal base e não contém fosfatos (FERNANDES, 2015).
- ✓ **Desengraxe eletrolítico:** É uma segunda fase de limpeza, que complementa o primeiro desengraxe. Quando existe uma quantidade significativa de grafite nas peças, esta apenas é removida nesta segunda fase (FERNANDES, 2015). Esta etapa ocorre numa temperatura entre 40 e 50 °C afim de se obter uma limpeza alcalina através de uma corrente elétrica, para acelerar e obter um bom resultado na limpeza.
- ✓ **Decapagem:** Consiste na remoção de óxidos e carepas que não foram removidos nas etapas precedentes. É feito em solução extremamente ácida, com pH de aproximadamente 1 (FERNANDES, 2015). Efetua-se a imersão da peça já desengraxada em banhos ácidos ou faz a remoção por jatos ácidos e, em seguida a lavagem da peça (OLIVEIRA, 2017).

3.1.2. Eletrodeposição

A eletrodeposição é feita através da aplicação de uma corrente continua para garantir o total recobrimento da peça (GENTIL, 2012). A eletrodeposição pode ser aplicada para muitos metais, ou ocorrer co-deposição formando ligas. Isso permite explorar propriedades combinadas extraordinárias, como as ligas de alumínio, ou obter camadas muito finas, no caso de metais preciosos (SILVA, 2007). Assim, para ser feito esse processo são necessários alguns elementos como: banho eletrolítico, um catodo condutor, um anodo condutor, um contentor inerte e uma fonte de alimentação. No catodo é onde irá colocar a peça que vai ser recoberta pelo metal que está localizado no anodo, processo no qual só acontece por causa de uma corrente continua fornecida pela fonte.

Os processos de eletrodeposição permitem maior controle sobre as características do depósito formado, sendo possível a obtenção de filmes finos (na ordem de μm) e com porcentagem definida de elementos na liga (OLIVEIRA, 2008).

É importante economicamente o processo de eletrodeposição pois consegue uma camada fina do material, melhorando a aparência e a resistência a corrosão. As ligas, obtidas por eletrodeposição, podem apresentar também propriedades mecânicas e químicas superiores em relação aos metais puros, tais como: grãos mais refinados, maior dureza, maior resistência a tensão e ao desgaste mecânico, e principalmente a resistência a corrosão (OLIVEIRA, 2008).

3.2. Revestimentos de Níquel

O nome níquel deriva de “kupfernickel”, referência dada a nicolita pelos mineiros alemães quando a identificaram no século XVII. Antes da era cristã, o metal já era utilizado. Moedas japonesas de 800 anos A.C. e gregas de 300 anos A.C. continham níquel, acredita-se que seja uma liga natural com o cobre. O minério teve pouca importância real na economia industrial até 1820, quando Michael Faraday, com a colaboração de seu associado Stodard, foram bem sucedidos fazendo uma liga sintética de ferro-níquel, sendo o início da liga níquel-aço que tem uma grande contribuição para o desenvolvimento industrial do mundo. Em 1838, a Alemanha produziu o primeiro níquel metálico refinado, tendo iniciado o refinamento com umas poucas centenas de toneladas de minério importado e, em 1902, foi formada a International Nickel Co. of Canadá Ltd., a principal produtora de níquel do distrito de Sudbury (DA SILVA, 2001).

Em 2008, o Brasil ocupou a 7ª posição a nível mundial em reserva de níquel. De acordo com o Ministério de Minas e Energia (MME) as reservas de níquel no Brasil estão distribuídas nos estados de São Paulo, Goiás, Minas Gerais, Pará e Piauí (KRIEGER, 2014).

O níquel é um metal branco-prateado, dútil, maleável e as mais importantes fontes de níquel são os minérios na forma de sulfeto, milerita e pentlandita, que se apresentam associados a outros sulfetos metálicos em rochas básicas, frequentemente acompanhados de cobre e cobalto (MONTEIRO, 2009). É um elemento utilizado na produção de varias ligas, na fabricação de moedas, magnetos, e baterias de acumulação (LEMES, 2001).

O níquel eletrodepositado tem sido amplamente utilizado na indústria de tratamento de superfícies. No âmbito nacional, a empresa Magnesita Service domina a tecnologia de revestimento em níquel em placas metálicas (Figura 2), oferecendo opções de revestimento com geometrias diversas e diferentes ligas (CECCONELLO, 2006).

Figura 2: Molde de lingotamento contínuo revestido em níquel.



Fonte: CECCONELLO (2006).

Os compostos de níquel são úteis na proteção de materiais em forma de niquelados, são utilizados na melhoria da resistência mecânica a altas temperaturas, resistência a corrosão e outras propriedades, para uma ampla faixa de ligas ferrosas e não-ferrosas (DANTAS, 2012). Geralmente esse recobrimento de níquel é feito por deposição eletrolítica onde obtém-se uma fina camada do material, esse processo ocorre numa cuba eletrolítica com auxílio de uma corrente contínua.

A niquelagem tem como finalidade o recobrimento das peças com uma fina camada de níquel que confere proteção às peças e serve de base à cromagem decorativa (MENEZES, 2002). Há diversos tipos de banho de níquel, como niquelação opaca, brilhante, banhos rápidos e lentos, dependendo da utilização final da peça a ser niquelada. (ARAÚJO, 2006).

A escolha do níquel como principal elemento na liga se deve à estrutura cúbica de face centrada, à alta tenacidade, à alta ductilidade e não possuir um alto custo. O níquel é bastante utilizado como revestimento de metais menos nobres mais suscetíveis à corrosão, como uma prevenção e para diminuir os custos (VALENTE, 2017).

Na maioria dos processos de recobrimento, a integridade do depósito depende criticamente da condição inicial da superfície do substrato, sendo assim, antes da deposição da camada de ligação uma preparação prévia da superfície é requerida (LADEIRA, 2000).

3.3. Revestimentos de Zn/Ni

O zinco é um metal de cor branco-azulada, forma cristalina hexagonal compacta, número atômico: 30, peso atômico: 65,38, dureza: 2,5 (escala de Mohs), ponto de fusão: 419°C (à pressão de 760mm de Hg) e ponto de ebulição: 920°C. É o 23º elemento mais abundante na crosta terrestre (MONTEIRO, 2009). O zinco ocorre em pequenas quantidades em quase todas as rochas vulcânicas. Os principais minérios são os sulfitos, como a esferolite (ZnS) e a wurzite (S_{Zn4}) (CASIMIRO, 2010). É usado em grandes quantidades para revestir objetos de ferro evitando a corrosão e também na fabricação de ligas, como o bronze, a mais comum. Pode ser usado na fundição de peças metálicas, como eletrodos negativos nas pilhas secas e como pigmento branco em tintas (LINS, 2003).

Os depósitos de zinco-níquel oferecem uma proteção de sacrifício ao aço, assim como os depósitos de cádmio e de cádmio-titânico. A maioria dos eletrólitos comerciais para a eletrodeposição de ligas zinco-níquel pode ser dividida em eletrólitos ácidos e alcalinos (SPERB, 2001).

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 (OLIVEIRA, 2017).

A eletrodeposição de ligas zinco-níquel é usualmente efetuada a partir de eletrólitos aquosos à base de cloretos ou sulfatos os quais podem ser classificados em banhos ácidos ou alcalinos. Os íons zinco e níquel, necessários ao processo de redução, podem ser introduzidos na solução através de seus sais (cloretos ou sulfatos) e/ou zinco e níquel metálicos (anodos solúveis) (CALCIOLARI, 2011).

Os depósitos provenientes da galvanização da liga metálica Zn/Ni podem ser facilmente passivados/cromatizados nas tonalidades prata, azul, amarela e negra, conforme a norma a ser atendida. A galvanização desta liga é um processo de fácil controle de aditivos e que possibilita gerar depósitos com 12 a 15% de Níquel (SOUSA, 2017). 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 (OLIVEIRA, 2017). A Figura 3 apresenta imagens de algumas peças revestidas com a liga de zinco-níquel.

Figura 3: Peças galvanizadas com revestimento Zn/Ni.



Fonte: Dileta 2019.

Devido às suas características, principalmente de elevada resistência à corrosão, a liga de Zn-Ni é amplamente empregada nas indústrias automotiva e aeroespacial, as quais requerem cobertura com alta resistência à corrosão (OLIVEIRA, 2008).

Os principais fatores que influenciam a composição da liga Zn-Ni são: acidez do banho (pH), composição do banho, temperatura, agitação do banho e densidade de corrente (OLIVEIRA, 2008).

3.4. Corrosão

A transformação de materiais por ação química, eletroquímica e mecânica do meio, podendo estar associado ou não a esforços mecânicos, é denominada de corrosão (BARROS, 2016). Esses tipos de transformações acarretam problemas em alguns materiais,

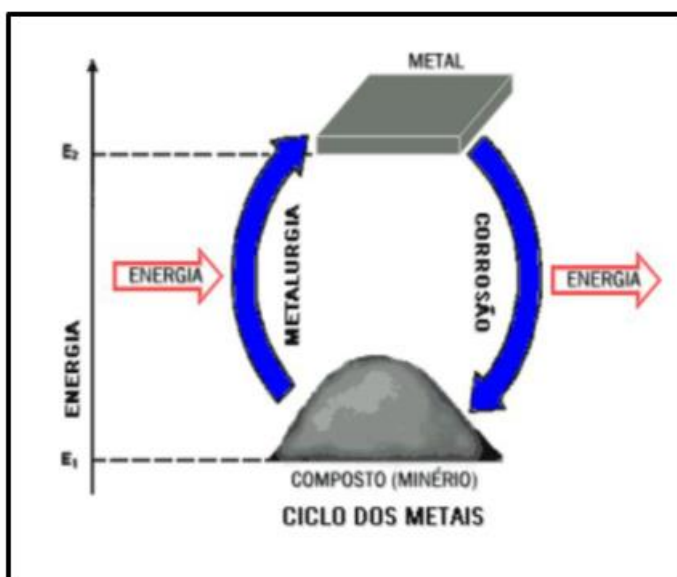
principalmente em estruturas metálicas, podendo gerar danos irreversível havendo assim a substituição da parte prejudicada ou de toda a estrutura.

O processo corrosivo prejudica a resistência mecânica, a condutibilidade elétrica e outras características como a transmissibilidade térmica, coeficientes de dilatação e de contração e altera a aparência dos materiais. Pode, inclusive, representar perda significativa de material para o meio, danificando instalações industriais, construções e seus componentes (BARROS, 2016).

Algumas técnicas ou métodos usados no monitoramento e avaliação da corrosão são: potencial de corrosão, resistência a polarização, espectroscopia de impedância eletroquímica (EIE) (FREITAS, 2014).

Segundo Oliveira (2017) a corrosão metálica é o inverso do processo da metalurgia. Um esquema pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Esquema comparativo admitindo o fenômeno corrosivo como um processo inverso ao metalúrgico.



Fonte: OLIVEIRA (2017).

De acordo com CALLISTER (2008), é pertinente classificar a corrosão pela forma como ela se manifesta. A corrosão de metais é classificada da seguinte maneira: ataque uniforme, galvânica, em frestas, por pites, intergranular, por lixívia seletiva, erosão-corrosão e corrosão sob tensão.

Segundo CALLISTER (2008), lixívia seletiva geralmente ocorre quando um elemento ou composto é removido por processo de corrosão, um exemplo clássico é a remoção do zinco no latão, sendo o zinco lixiviado de uma liga cobre zinco. Na corrosão por lixiviação seletiva o elemento removido é o menos nobre da liga, ou seja, o mais anódico (CASIMIRO, 2010).

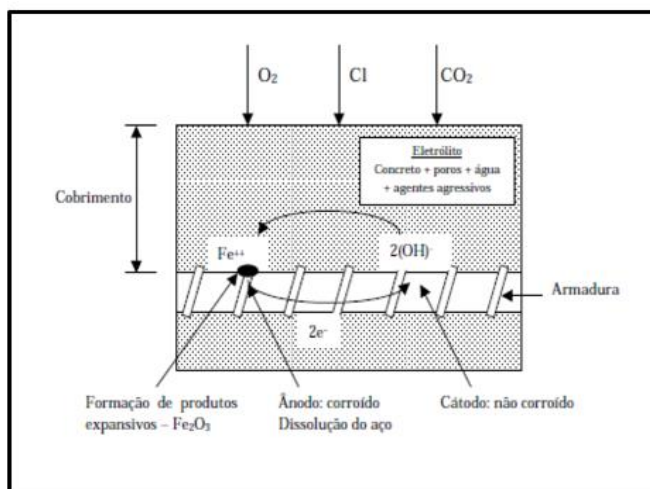
Os problemas com a corrosão são encontrados facilmente em qualquer lugar que sem tenha alguma ligação com metais, como na construção civil que se usa o aço para a armação do concreto. O processo de corrosão das armaduras no interior do concreto pode ser classificado como corrosão eletrolítica, que por sua vez ocorre em meio aquoso, havendo a necessidade de um eletrólito, diferença de potencial, oxigênio e agentes agressivos (SANTOS, 2015). O mecanismo de corrosão eletroquímica é baseado na existência de um desequilíbrio elétrico entre metais diferentes ou entre distintas partes do mesmo metal, mostrando a caracterização de o que se chama pilha eletrolítica ou célula de corrosão (Figura 5).

Mesmo após a despassivação da armadura, só irá haver corrosão se as seguintes condições estiverem presentes:

Eletrólito: Deve existir água suficiente no interior do concreto para atuar como eletrólito capaz de transportar os íons das reações de corrosão.

Diferença de potencial elétrico: deve existir uma diferença de potencial elétrico entre regiões da armadura.

Figura 5: Modelo da corrosão de armaduras no concreto.



Fonte: SANTOS (2015).

A falta de conscientização sobre a corrosão e o que ela pode acarretar no metal é um fator determinante para que várias empresas no Brasil tenham perda de equipamentos metálicos por falta de manutenção ou de não conter nenhum revestimento anticorrosivo, essa negligência pode ocasionar acidentes com funcionários ocasionados pela falta de cuidados nos equipamentos metálicos, podendo ser evitado com técnicas anticorrosivas.

O custo da corrosão vem de diversas fontes, substituição dos equipamentos e componentes corroídos, custo da produção interrompida (para troca e reparos) ou reduzida; perdas de parte da produção; diminuição da vida útil dos equipamentos e das medidas necessárias para evitar ou prevenir a corrosão (QUEIROZ, 2011).

Quando dois materiais metálicos, com diferentes potenciais, estão em contato na presença de um eletrólito, ocorre uma diferença de potencial e a consequente transferência de elétrons. Para esse caso, o nome é corrosão galvânica (AMARAL, 2016). Este tipo de corrosão pode ser facilmente observada em telhas através das manchas características de corrosão branca (do zinco) ou vermelha (do aço) (AMARAL, 2016). O sistema é então transformado em uma célula de corrosão eletroquímica, devido a diferenças no potencial de corrosão dos diferentes materiais (SANTOS, 2011).

Os princípios que regem a corrosão é o material metálico utilizado (composição química, tratamentos térmicos e mecânicos, forma, solda, etc.) e o meio corrosivo (composição química, pH, temperatura, impurezas) (SOUSA, 2017).

Ensaio de corrosão adequadamente conduzidos podem significar uma economia de milhões de dólares, pois representam um meio de se evitar o uso de um material sob condições inadequadas ou, então, a utilização de um material muito mais caro do que o que se faz necessário (LADEIRA, 2000). Os ensaios de corrosão são úteis não apenas para avaliar a corrosão sofrida por um material, mas também para indicar o material mais adequado ao ambiente de trabalho a que ele é exposto (VALENTE, 2017).

3.4.1. Testes Eletroquímicos de Corrosão

As técnicas eletroquímicas são utilizadas amplamente para determinação de índices corrosivos, sendo estas um meio fundamental de estudo da corrosão (OLIVEIRA, 2017). 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 (OLIVEIRA, 2017). Queiroz (2014), afirma que 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).

3.4.1.1. Técnica do EVT

A técnica do EVT é conhecida como a medida de potencial eletroquímico em circuito aberto de um metal em função do tempo; este método analítico se baseia na medida da força eletromotriz (FEM) de uma célula galvânica constituída por dois eletrodos, um eletrodo de trabalho e o outro de referência (SOUSA, 2017).

3.4.1.2. Técnica da Corrosimetria

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. (QUEIROZ, 2014). Trata-se de uma técnica em que se aplica sucessivas varreduras (com ajuste linear automático) em torno do potencial de corrosão (± 30 mV) para determinar a R_p , mostrando a evolução do comportamento de passivação e despassivação do material estudado em função do tempo (SOUSA 2017).

4. METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1. Preparação das Amostras

Neste trabalho foram utilizadas amostras de aço 1020 como substrato, as quais foram submetidas ao processo galvânico de cobertura com Zn/Ni e com níquel. Na preparação das amostras foram cortadas quatro placas do aço 1020 com dimensões 5x5 (cm) que equivalem a uma área de 25 cm², neste processo a área é um parâmetro bastante relevante, onde duas das amostras são o aço 1020 que foram revestidas com Zn/Ni e as outras duas revestidas com Níquel, possibilitando futuros estudos comparativos.

O processo de preparação das amostras iniciou com o corte do aço 1020 seguido do lixamento e polimento em uma Politriz. Logo após esta etapa foi soldado um fio de conexão em cada amostra e área soldada foi isolada com uma camada de fita isolante líquida.

4.2. Processo de Eletrodeposição

As preparações das amostras assim como o processo de eletrodeposição foram realizadas no Laboratório de Engenharia Eletroquímica da UFCG em Campina Grande – PB. Com as amostras devidamente preparadas para receber os revestimentos, foram realizadas a eletrodeposição das camadas de Zn/Ni e Níquel metálico.

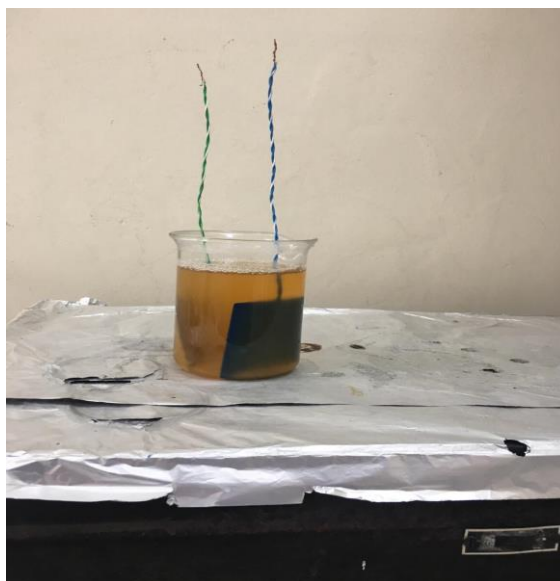
4.2.1. Etapas da Eletrodeposição

Primeira Etapa: inicia-se com a preparação dos reagentes, dos desengraxante químicos e eletrolítico.

Segunda Etapa: preparação dos recipientes na ordem de deposição das amostras, na qual foi feito com recipiente galvânico Polipropileno (PP) N°5 e resiste a temperaturas entre - 10 e 100°C, o qual é inerte e resiste a ataque de reagentes químicos.

Terceira Etapa: ocorre o desengraxe das amostras com o desengraxante químico (Figura 6), sendo aquecida a solução em uma temperatura de 60°C, para haver a remoção de substâncias orgânicas da superfície da amostra. Em seguida, a amostra passou por uma lavagem em água destilada antes de iniciar o próximo banho.

Figura 6: Desengraxe Químico.



Fonte: O autor.

Quarta Etapa: logo em seguida ocorre o desengraxe eletrolítico (decapagem), isto foi realizado com uma solução alcalina e em temperatura ambiente a Figura 7 é apresentada uma imagem deste processo. No procedimento foi utilizado uma corrente elétrica de 1A (correspondente da ficha técnica fornecida pela Surtec), na qual a área é um parâmetro de cálculo, tendo que a aplicação dessa corrente provoca a decação e remove óxidos presentes na superfície. Em seguida, a amostra passou por uma lavagem em água destilada antes de iniciar o próximo banho.

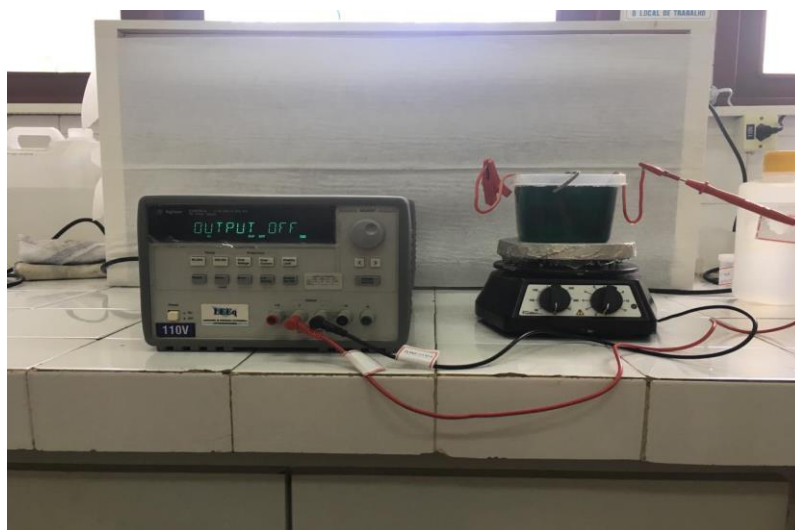
Figura 7: Desengraxe Eletrolítico.



Fonte: O autor.

Quinta Etapa: as etapas descritas anteriormente compõem o pré-tratamento das amostras. Em sequência foram realizadas a eletrodeposição das camadas de Ni/Zn e Níquel metálico no substrato (aço 1020) mostrado na Figura 8, mantendo o controle de parâmetros como: corrente (A), temperatura, pH, agitação e tempo. Esses fatores foram determinados de acordo com a ficha da Surtec, logo após esse processo as amostras passaram por uma lavagem em água destilada.

Figura 8: Esquema da Eletrodeposição.



Fonte: O autor.

Sexta Etapa: nesta etapa a amostra foi seca em estufa na temperatura de 100°C.

4.3. Análises Eletroquímicas em Corrosão

Nesse trabalho foram realizadas duas técnicas para a avaliação da corrosão no aço 1020 após a cobertura com as duas camadas eletrodepositadas (Níquel e Zn/Ni). As técnicas foram a do EVT e a Corrosimetria.

4.3.1. A Técnica do EVT

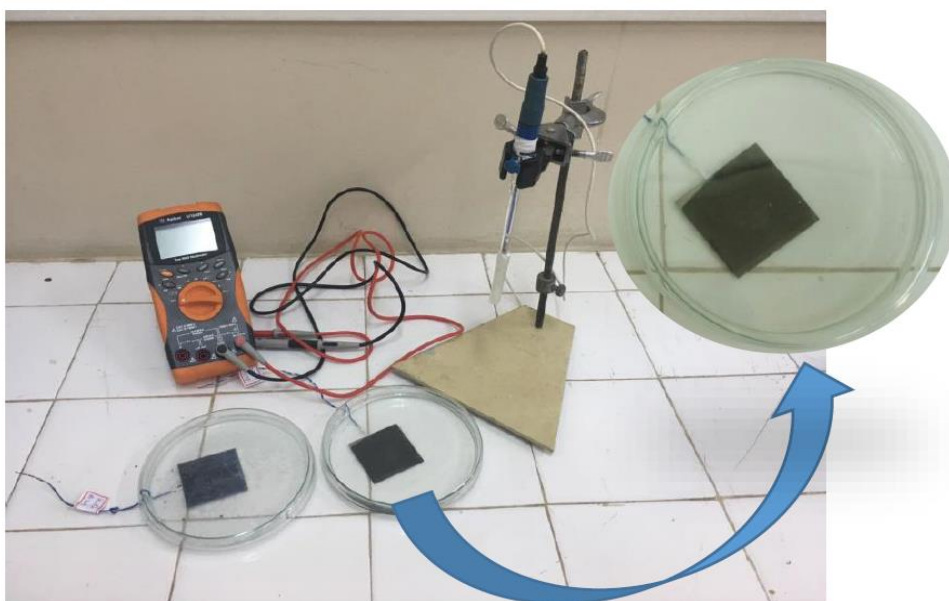
A Técnica do EVT é realizada medindo-se o potencial do material em circuito aberto em função do tempo; este método analítico se baseia na medida da força eletromotriz (FEM)

de uma célula galvânica constituída por dois eletrodos, um eletrodo de trabalho e o outro de referência.

Na verificação do potencial de corrosão em função do tempo (EVT), foram utilizadas amostras do aço 1020 recobertas pelo o processo galvânico de Zn-Ni e níquel. A localidade da solda foi isolada para que o metal da solda das amostras e o fio não entrem em contato com eletrólito. Assim as amostras foram coladas em uma placa de Petri com uma solução de cloreto de sódio $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$.

A pratica ocorreu realizando-se medidas do potencial com um multímetro da marca Agilent, modelo U1253B, e um eletrodo de referência de calomelano (SCE) mostrado na Figura 9 a representação dessa pratica. As medidas de potencial foram feitas em intervalos com média de 24 horas por um período total de 3672 horas (153 dias).

Figura 9: Material utilizado para os testes de potencial de corrosão em função do tempo.



Fonte: Oliveira (2017).

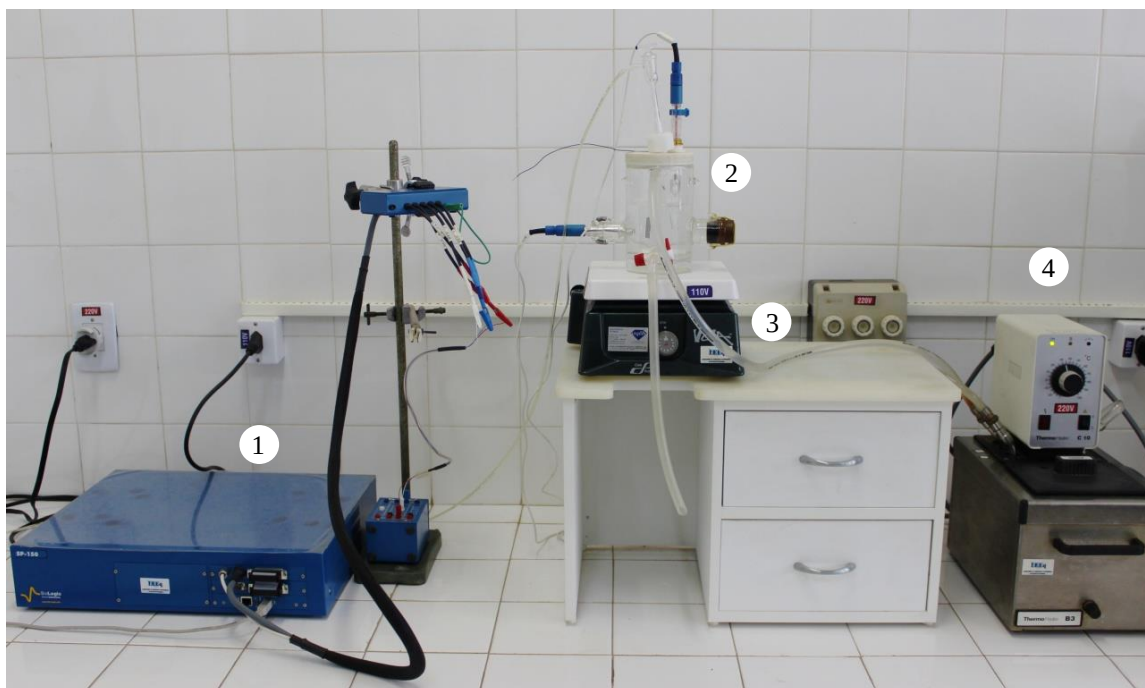
4.3.2. A Técnica da Corrosimetria

Na Corrosimetria, acompanha-se a resistência a polarização (R_p), o potencial de corrosão e a corrente de corrosão em função com o tempo. Trata-se de uma técnica em que aplica-se sucessivas varreduras (com ajuste linear automático) em torno do potencial de

corrosão (± 30 mV) para determinar a R_p , mostrando a evolução do comportamento de passivação e despassivação do material estudado, em função do tempo.

A estrutura utilizada na corrosimetria é apresentada na Figura 10, pode-se observar um potenciostato da marca BioLogic, modelo SP – 150 (1), a célula eletroquímica com três eletrodos (2), um agitador magnético (3) da marca Cole parme, e um banho termostático (4) da marca Thermo Haake, modelo C10. Foi utilizado um eletrodo de referência de calomelano, um contra-eletrodo de platina e o terceiro eletrodo era a amostra. O eletrólito utilizado nos testes foi uma solução de cloreto de sódio 0.2 mol.L^{-1} . A célula passou por um processo de nitrogação antes do início dos testes, para assim ser retirado todo oxigênio dissolvido no eletrólito. A nitrogação foi mantida até o fim do teste.

Figura 10: Sistema experimental utilizado nos ensaios eletroquímicos de corrosão.



Fonte: O autor.

Prosseguiu-se com os testes em que todos os eletrodos se encontravam conectados diretamente nos terminais do potenciostato, e com o auxílio do EC-Lab Software – Techniques and Applications, version 10.37, alcançou os dados necessário para a análise corrosiva.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Preparação das Amostras

As amostras foram preparadas primeiramente com o corte do metal utilizado como substrato (aço 1020) para posterior cobertura galvânica. Na Figura 11 (a) e (b) são apresentadas: a amostra do aço 1020 polida (frontal) e com a camada isolante na parte posterior, respectivamente.

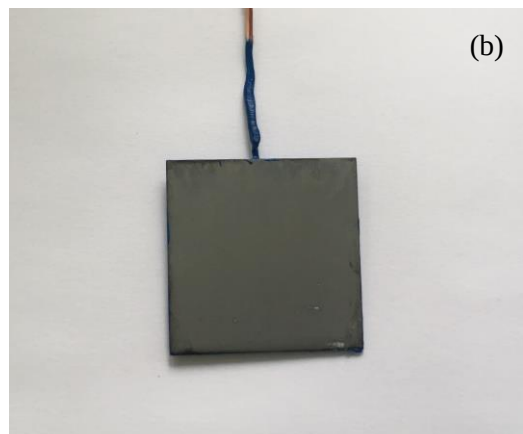
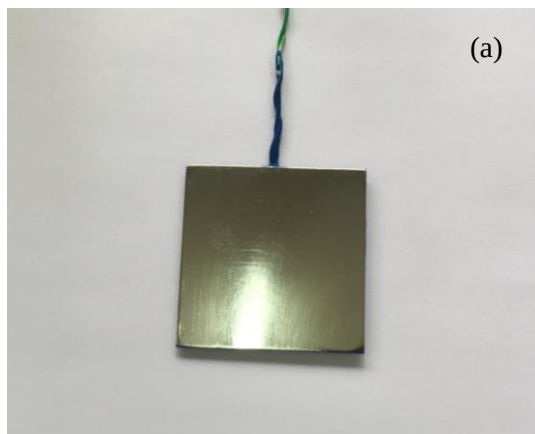
Figura 11: Amostras de aço 1020 preparadas para serem revestidas. (a) Parte frontal da amostra. (b) Parte posterior isolada.



Fonte: O autor.

Após o preparo inicial das amostras, as coberturas eletroquímicas foram realizadas. A amostra de aço 1020 revestida com Níquel metálico pode ser observada na Figura 12 (a) e a amostra revestida com a liga Zn/Ni é apresentada na Figura 12 (b).

Figura 12: Amostras após o revestimento. (a) Níquel metálico e (b) Liga Zn/Ni.



Fonte: O autor.

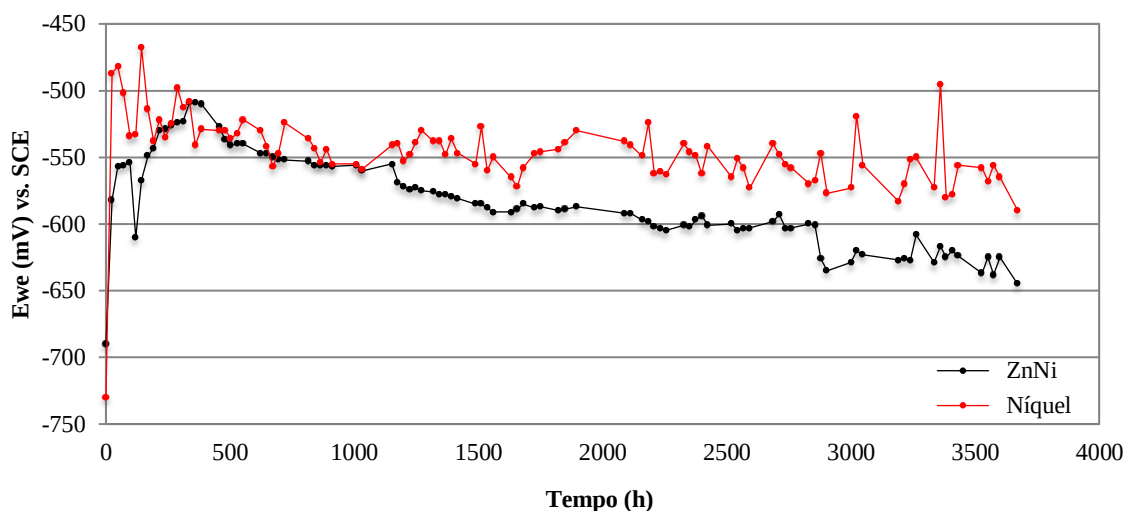
De acordo com as imagens apresentadas na Figura 12 pode-se observar que as camadas foram revestidas no substrato (aço 1020) satisfatoriamente, a amostra revestida com o níquel metálico apresentou um aspecto brilhante/espelhado sem falhas ou rachaduras na superfície, enquanto a amostra revestida com a liga Zn/Ni apresentou uma coloração cinza escuro e fosca.

5.2. Análises Eletroquímicas em Corrosão

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

As variações do potencial eletroquímico de corrosão (EVT) para as amostras revestidas com Níquel metálico e a liga Zn/Ni estão representadas na Figura 13.

Figura 13: Gráfico de E_{we} vs. SCE em função do tempo. Amostras de aço 1020 revestidas com Níquel metálico e Zn/Ni.



Fonte: O autor.

O gráfico apresentado na Figura 13 exibe a variação do potencial eletroquímico de corrosão em função do tempo (EVT) para as amostras analisadas. Os dados foram organizados no gráfico de forma que se possa correlacionar os valores de EVT sob influência do tipo de revestimento formado: Níquel e Zn/Ni.

De acordo com a Figura 13 é possível observar que inicialmente as duas amostras estavam em potenciais de corrosão mais negativos -690 e -730 mV, para a mostra de Zn/Ni

e Níquel, respectivamente. Nas primeiras 24 horas houve um aumento de potencial em ambas as amostras, pode-se observar que a amostra revestida com níquel estabilizou em um potencial mais alto que a amostra de Zn/Ni. A amostra de níquel manteve-se durante quase todo o tempo analisado em um potencial mais elevado.

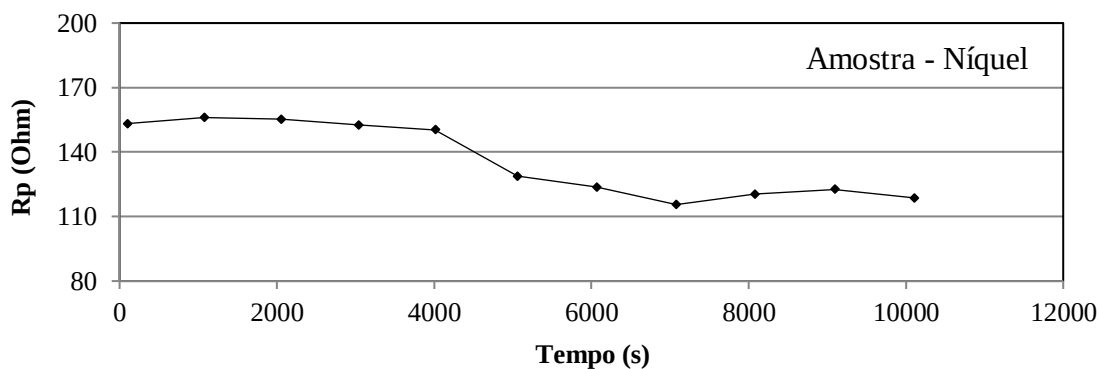
As diferenças encontradas no comportamento das duas curvas apresentadas na Figura 13 se dão pelo fato de uma amostra iniciar a formação do filme passivo mais rapidamente que a outra, este fato provoca uma diminuição no potencial de corrosão devido ao caráter isolante do filme passivo, impedindo ou dificultando a transferência de elétrons nas reações de oxidação do metal.

A principal característica dessas curvas quando comparadas é que a amostra de Zn/Ni obteve uma estabilização em um potencial mais baixo (-645 mV) que a amostra revestida com Níquel (-590 mV), isto indica que a amostra de Zn/Ni forma o filme passivo mais lentamente, ficando mais susceptível ao processo corrosivo que a amostra de Níquel.

5.2.2. Corrosimetria

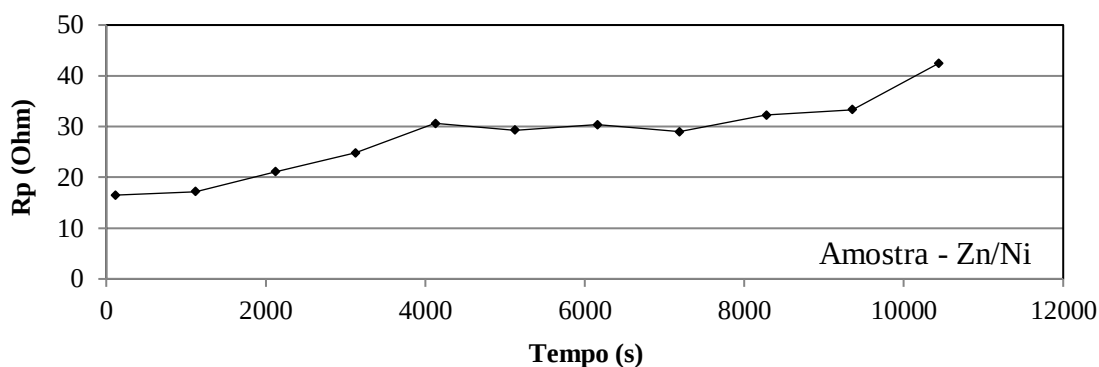
O objetivo da corrosimetria é acompanhar e analisar os valores padrões de corrosão (resistência a polarização, corrente e potencial de corrosão) em função do tempo. Neste teste, plotou-se uma curva de polarização linear a cada 15 minutos, logo após cada uma delas a resistência a polarização (R_p) é calculado. Este procedimento repetiu-se por 10 vezes. Nas Figuras 14 e 15 estão representadas as curvas de corrosimetria referente as amostras revestidas com Níquel metálico e Zn/Ni, respectivamente.

Figura 14: Gráfico de R_p em função do tempo (Amostra – Níquel).



Fonte: O autor.

Figura 15: Gráfico de R_p em função do tempo (Amostra – Zn/Ni).



Fonte: O autor.

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 do material oxidar (QUEIROZ, 2014).

Pode-se observar nos gráficos de R_p em função do tempo que dentre todas as amostras estudadas, a amostra revestida com Níquel obteve os maiores valores de R_p (Figura 14), o valor inicial foi 153,1 Ohm e o final 118,5 Ohm, tornando explícito que esta amostra possui uma alta resistência a corrosão.

A amostra revestida com Zn/Ni (Figura 15) obteve um comportamento crescente durante toda a análise. Esta amostra partiu de um valor 16,5 Ohm atingindo um R_p final de 42,4 Ohm. O aumento nos valores de R_p pode ser explicado pelo fato de a cada ciclo do teste de polarização linear, uma camada passiva dos produtos da corrosão ser depositada em suas superfícies, tornando mais difícil a troca de cargas nas reações eletroquímicas, por consequência da diminuição das áreas anódicas na superfície metálica.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que:

- as amostras de aço 1020 foram preparadas e revestidas eletroquimicamente com as camadas de níquel metálico e de Zn/Ni de forma satisfatória;
- O teste do potencial de corrosão em função do tempo (EVT) mostrou que a amostra de Zn/Ni obteve uma estabilização em um potencial mais baixo que a amostra revestida com Níquel, indicando que a amostra de Zn/Ni é mais susceptível ao processo corrosivo que a amostra de Níquel;
- de acordo com os testes eletroquímicos, a placa galvanizada com Zn/Ni apresentou os menores valores de R_p , mostrando uma maior suscetibilidade à processos corrosivos quando compara com a amostra de revestida com Níquel metálico;
- este trabalho indicou qual amostra apresentou uma melhor ou pior resistência a corrosão, mostrando que o revestimento do aço 1020 com o Níquel metálico é a amostra mais resistente a corrosão quando comparada com a amostra do mesmo metal usado como substrato revestido com Zn/Ni.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, T.B.S. **Estudo sobre corrosão em chapas de aço galvanizadas**. 107 f. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia do Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso SUCKOW Da Fonseca – CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2016.

ARAÚJO, N. V. S. **Galvanoplastia com cromo diagnóstico das condições ambientais e ocupacionais em pequenas empresas**. 126 f. Dissertação de Mestrado – Curso de Mestrado do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

BARROS, Sérgio, S. **Galvanoplastia: Controle ambiental no Brasil e na Alemanha, suas bases legais e tecnológicas**. Curitiba: UFPR, 2016. 136 f. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial- PPGMAUI, Universidade Stuttgart e do SENAI - Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

CALCIOLARI, Fábio, L. **Influência das condições de eletrodeposição sobre a resistência a corrosão, susceptibilidade à fragilização por hidrogênio e à corrosão sob tensão do aço ABNT- 4340 revestido com liga Zn/Ni**. São Carlos: UFSCar, 2011, 217 f. Tese - Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

CALLISTER, Jr, William D., 1940-**Ciência e engenharia de materiais: uma introdução/ William D. Callister, Jr.; tradução Sergio Murilo Stamile Soares**. – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CASAGRANDE, D, F, M. **Minimização de impactos ambientais da indústria galvânica através do uso de soluções livres de cianeto**. 76 f. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental como requisito para a obtenção do título de mestre em Qualidade Ambiental. Centro Universitario Feevale. Novo Hamburgo, 2009.

CASIMIRO, Paulo Jorge, N. **Materiais de contacto com água para consumo humano, mecanismos de degradação e contaminação**. 133 f. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em engenharia do materiais – Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

CECCONELLO, Erik. L. S. **Morfologia e Porosidade de Níquel Eletrodepositado em Cobre**. 127 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia CORTEZ, Vinicius Dantas. **Caracterização de micro e pequenas indústrias de cromação do setor de galvanoplastia na zona leste do município de São Paulo com ênfase no manejo de efluentes**. 76 f. Dissertação de mestrado – Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, 2012.

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. Dissertação (Mestrado).

DA SILVA, C. S. Níquel. Balanço mineral brasileiro 2001. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-niquel/view> : Acesso em 16/03/2019.

DANTAS, Elisângela, B. Redução In Situ de NiO durante a Sinterização de Misturas Ni/NiO Produzidas por Metalurgia do pó. 99 f. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

DILETA, **Galvanização Zinco Níquel**. Disponível em: <http://www.dileta.com.br/galvanizacao-zinco-niquel> >. Acesso em 15 de março de 2019.

FERNANDES, J. M. V. **Caracterização e avaliação de Custos de revestimentos eletrolíticos de zinco-níquel**. 87 f. Relatório de estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Materiais, Aveiro, 2015.

FREITAS, A. C. R. **Estudo da resistência a corrosão do aço carbono em meio microemulsionado com biodiesel de babaçu**. 71 f. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Química da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do Título de Mestre em Química. Universidade Federal Do Maranhão, São Luís, 2014.

GENTIL, Vicente. Corrosão. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

KRIERGER, H.A.C. **AValiação DOS NÍVEIS SALIVARES E SANGUÍNEOS DE NÍQUEL EM INDIVÍDUOS FUMANTES E NÃO FUMANTES – ESTUDO PILOTO**. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso, curso de Graduação em Odontologia – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

LADEIRA, L.W.A. **“Conjugados Duplex de WC-Co/NiCrAl ou NiCr, Processados por aspersão térmica, para aplicações em meios corrosivos e/ou desgaste”**. 271 f. Dissertação de Mestrado – Curso de Pós – Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

LEMES, MARCOS J. I (2001). Avaliação de Metais e Elementos-traço em Águas e Sedimentos das Bacias Hidrográficas dos Rios Mogiguaçu e Pardo, São Paulo. 248p. Tese (Dissertação de Mestrado) – INSTITUTO DE PESQUISAS ENÉRGICA E NUCLEARES – Autarquia associada à Universidade de São Paulo. São Paulo.

LINS, Flaviani, A. **Remoção de níquel e zinco utilizando zeólita natural estilbita através do processo de troca iônica**. 136 f. dissertação de mestrado, programa de pós-graduação em engenharia química – Universidade Federal De Química, Recife – PE, 2003.

MENEZES, M. Â. B. **Avaliação da exposição e contaminação por metais em galvanoplastias utilizando filtros de ar e biomonitores**. 268 f. Tese de Doutorado – Curso de Doutorado do Departamento de Química – Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte, 2002.

MONTEIRO, Raquel Almeida. **Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco**. 86 f. Dissertação de mestre, Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, Edcarlos, M. **Desenvolvimento de banhos ácidos na presença de poliálcoois para eletrodeposição de liga de Zn-Ci. Caracterização eletroanalítica do processo de deposição e caracterização química, física e morfológica dos filmes Zn-Ni.** 137 f. Centro de ciências exatas e de tecnologia departamento de química. Programa de pós-graduação em química – Universidade Federal De São Carlos, São Carlos-SP, 2008.

OLIVEIRA, Renata, M. **Análise Corrosiva do Aço 304 quando submetido ao Procedimento de Galvanoplastia.** 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso, curso de Ciência e Tecnologia - Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Caraúbas, 2017.

PASQUALINI, A. (2004). **Estudo de Caso Aplicado à Galvanoplastia.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis.

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.

Química - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG, 2006.

SANTOS, A.V.B. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto devido a carbonatação** – ISSN 2179 – 5568 – Revista Especialize On-line IPOG – Goiânia – Edição nº 10 Vol. 01/2015 dezembro/2015.

SANTOS. G. A. **Desenvolvimento de sensores eletroquímicos a base de Ni e NiCo eletrodepositados para detecção de processos de fragilização por hidrogênio.** 150 f. Dissertação de Mestrado – Engenharia e Ciências dos Materiais – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SILVA, G. M. M. C. **Metais e ligas metálicas uma abordagem experimental no secundário.** 127 f. Dissertação de Mestrado – Departamento de Química da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2007.

SOUSA, Marcia Cristina. **Avaliação da absorvidade térmica de superfícies formadas pelas ligas binárias ZnNi e ZnFe destinadas a fabricação de concentradores solar.** 103 f. Tese de mestrado em Engenharia Química – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

SPERB. A. L. F. **Caracterização das ligas zinco-níquel eletrodepositadas a partir de solução de cloreto.** 101 f. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgico e de Materiais – PPGEM – Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2001.

VALENTE, W.D.A. **Avaliação da resistência à corrosão em revestimentos de superliga de níquel usados para cladeamento.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais, do centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckw da Fonseca, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, Dezembro de 2017.