

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

BEATRIZ APARECIDA PINTO

**COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA CuNi COM PARTÍCULAS
CERÂMICAS DURAS DE CARBETO DE SILÍCIO (SiC) OBTIDOS POR
ELETRODEPOSIÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2016

BEATRIZ APARECIDA PINTO

**COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA CuNi COM PARTÍCULAS
CERÂMICAS DURAS DE CARBETO DE SILÍCIO (SiC) OBTIDOS POR
ELETRODEPOSIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso superior de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico da Mecânica - DAMEC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Tulio

CORNÉLIO PROCÓPIO
2016



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica



FOLHA DE APROVAÇÃO

Beatriz Aparecida Pinto

Compósitos de matriz metálica CuNi com partículas cerâmicas duras de Carbetto de Silício (SiC) obtidos por eletrodeposição.


Trabalho de conclusão de curso apresentado às hs do dia como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.



Prof(a). Dr(a). Paulo Cezar Túlio - Presidente (Orientador)



Prof(a). Me(a). Fernando Henrique de Oliveira Camara - (Membro)



Prof(a). Me(a). Celso Alves Correa - (Membro)

Às memórias de Celso Caetano, meu padrinho querido, e
Bento Caetano, meu avô e mestre que me ensinou a amar a
vida intensamente.

AGRADECIMENTOS

Ao grande mestre da vida, meu Deus, minha eterna gratidão pela caminhada até aqui e até onde suas graças permitirem-me chegar.

Aos meus pais, Edna e Benedito, que guiaram meus passos e me conduziram sempre no amor, na fé e na esperança.

Aos meus irmãos, Aline e Rafael, pilares de sustentação em minha vida.

Ao meu avô Lasio, por acreditar nos meus sonhos.

Ao meu orientador, pela sabedoria e paciência com que me guiou nesta caminhada.

Aos meus amigos, que me deram forças nos momentos mais difíceis e me proporcionaram momentos de grande alegria.

A todos os meus professores, que juntos me ajudaram a construir os degraus, com os quais cheguei até aqui.

A todos que contribuíram de alguma forma para que houvesse êxito no desenvolvimento desse trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

PINTO, Beatriz. **Compósitos de matriz metálica CuNi com partículas cerâmicas duras de Carbetto de Silício (SiC) obtidos por eletrodeposição**. 2016. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o desenvolvimento de um revestimento protetor para peças metálicas sujeitas a corrosão com erosão, incluindo a cavitação. A obtenção do revestimento é através da técnica eletroquímica de eletrodeposição. O revestimento é um compósito de matriz metálica CuNi com a incorporação de partículas cerâmicas de SiC. Aborda-se a metodologia de obtenção dos revestimentos e posteriormente a avaliação de suas propriedades mecânicas, composição química, morfologia superficial e resistência a corrosão. Sob certas condições de obtenção, foram obtidos revestimentos compósitos de CuNi – SiC com propriedades de resistência mecânica e resistência à corrosão superiores a depósitos CuNi. Esta condição foi densidade de corrente de deposição de 20 mAcm^{-2} e relação massa de SiC por volume unitário de solução (C_{SiC}) de 10 gL^{-1} .

Palavras-chave: Revestimento protetor. Corrosão com erosão. Eletrodeposição. Compósito de matriz metálica CuNi. Partículas cerâmicas de SiC.

ABSTRACT

Pinto, Beatriz. **CuNi Metal-matrix composites with ceramic particles Silicon Carbide (SiC) obtained by electrodeposition.** 2016. 39 f. Undergraduate thesis (Graduation) – Mechanical Engineering. Federal University of Technology Paraná. Cornélio Procópio, 2016.

In this work they are presented studies related to development of a protective coating for metal pieces against erosion-corrosion, including cavitation. The coatings were obtained by electrodeposition. The coatings consist of a composite of metal-matrix of CuNi with silicon carbide (SiC) particles embedded on it (CuNi-SiC). Methodology for obtainment and mechanical properties, chemical composition, surface morphology and corrosion resistance were evaluated. It will be shown that CuNi-SiC could be obtained with increased mechanical properties and corrosion resistance when comparing with CuNi. Under certain obtaining conditions, CuNi-SiC coatings with better mechanical and corrosion resistance properties than CuNi were obtained. This condition refers to deposition current density of 20 mAcm^{-2} and mass of SiC to volume of electrodeposition solution (C_{SiC}) of 10 gL^{-1} .

Keywords: Protective coating. Corrosion – erosion. Electrodeposition. CuNi metal matrix composites. Ceramic particles SiC.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	9
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	9
1.3 OBJETIVOS.....	10
1.3.1 Objetivo geral.....	10
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 A CORROSÃO.....	12
2.2 CORROSÃO ASSOCIADA A SOLICITAÇÕES MECÂNICAS: CORROSÃO - EROSÃO.....	14
2.2.1 Cavitação.....	15
2.3 REVESTIMENTOS METÁLICOS CONTRA CORROSÃO.....	17
2.3.1 Revestimento compósito de matriz CuNi com partículas cerâmicas de SiC	17
3 METODOLOGIA.....	19
3.1 PREPAROS PARA A REALIZAÇÃO DA ELETRODEPOSIÇÃO.....	19
3.1.1 Reagentes.....	19
3.1.2 Solução de eletrodeposição utilizada para a obtenção dos revestimentos CuNi.....	19
3.1.3 Preparo da solução de eletrodeposição.....	20
3.1.4 Eletrodos e células eletroquímicas.....	20
3.1.4.1 Pré tratamento do substrato.....	21
3.2 REALIZAÇÃO DAS ELETRODEPOSIÇÕES.....	22
3.3 ENSAIOS DE MICRODUREZA.....	24
3.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA POR EDS.....	25
3.5 MEDIDAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
4.1 PESQUISA E PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO PARA ELETRODEPOSIÇÃO DO COMPÓSITO CuNi – SiC.....	27
4.2 OBTENÇÃO ELETROQUÍMICA DE DEPÓSITOS CuNi E CuNi - SiC.....	28
4.2.1 Deposições galvanostáticas sem partículas de SiC.....	28
4.2.2 Deposições galvanostáticas com partículas de SiC.....	29
4.3 AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA.....	30
4.4 AVALIAÇÃO DE MEV E ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA POR EDS.....	31
4.5 ESTUDO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS OBTIDOS.....	33

4.5.1 Análise de R _p e composição química.....	37
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este projeto delimita-se no desenvolvimento de um novo material eletrocompósito, com matriz metálica resistente à corrosão. O intuito é avaliar uma possível aplicação como revestimento protetor em peças metálicas sujeitas a corrosão com erosão, aumentando a dureza do revestimento através da incorporação de partículas cerâmicas.

A aplicação do revestimento proposto abrangeria rotores de bombas centrífugas e indústrias dos mais variados setores que utilizam bombas, aumentando a vida útil das peças metálicas e gerando uma economia considerável para as empresas que sofrem com estes problemas.

A matriz metálica utilizada no presente projeto é composta por Cobre (Cu) e Níquel (Ni), e como meio de se aumentar a dureza do revestimento, o intuito é a incorporação de partículas cerâmicas micrométricas de carbeto de silício (SiC) na matriz pelo método da eletrodeposição.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

“Os problemas de corrosão são frequentes e ocorrem nas mais variadas atividades, como por exemplo, nas indústrias” (GENTIL, 2007, p. 1). Segundo o mesmo autor, os custos da corrosão tem se elevado paralelamente ao avanço tecnológico, dessa forma, esse fenômeno torna-se um fator de grande importância a ser considerado já na fase de projeto de grandes instalações industriais para evitar ou minimizar futuros processos corrosivos.

Quando há a associação de meio corrosivo e solicitações mecânicas, o material pode sofrer um processo corrosivo acelerado (GENTIL, 2007). Um exemplo desta corrosão é chamado de corrosão – erosão, sendo este, um termo geral para

uma ampla gama de processos associados com fluxos de fluidos monofásicos ou fluidos multifásicos (POSTLETHWAITE; NESIC, 2000).

Em bombas centrífugas o problema de corrosão - erosão denomina-se cavitação e ocorre com grande frequência. Nesse sistema há a formação de bolhas devido às diferenças de pressão. Estas bolhas implodem em determinado momento e danificam a superfície dos rotores destas bombas causando sérios problemas ao sistema, entre eles, o desbalanceamento e o aumento de esforço do equipamento para operar em sua condição normal. Esse fenômeno gera perda de massa nos rotores, ocasionando a redução de vida útil dos mesmos e, conseqüentemente, a geração de custos com manutenção e paradas da máquina.

Considerando os problemas apresentados, este projeto buscou desenvolver um revestimento que fosse ao mesmo tempo resistente ao desgaste mecânico e à corrosão. Este revestimento é um compósito de matriz metálica com fase dispersa de partículas duras, combinando assim, as propriedades de resistência a corrosão e ductilidade da matriz metálica com a dureza da fase dispersa. São revestimentos obtidos através de métodos eletroquímicos, especificadamente, através da eletrodeposição.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é a obtenção de compósitos de CuNi-SiC por eletrodeposição para revestimento de peças metálicas sujeitas à corrosão-erosão, como rotores de bombas centrífugas, entre outros.

1.3.2 Objetivos específicos

- Definição da composição do banho para eletrodeposição, assim como as concentrações de cada componente da solução. O banho será isento do ânion cianeto que é um agente agressivo ao meio ambiente;

- Definição dos parâmetros operacionais para a obtenção dos revestimentos compósitos: densidades de corrente, cargas de deposição e condições hidrodinâmicas;

- Obtenção de revestimentos que combinem as propriedades da matriz metálica, como resistência à corrosão, com as propriedades de resistência ao desgaste e de alta dureza das partículas cerâmicas.

- Caracterização das propriedades mecânicas, composição química, morfologia superficial e resistência à corrosão dos revestimentos;

- Avaliar os resultados obtidos em termos de futuras aplicações para estes revestimentos no contexto da corrosão - erosão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A CORROSÃO

Pode-se definir a corrosão como um processo químico ou eletroquímico entre um material, em geral um metal, e o seu ambiente, associada ou não a esforços mecânicos. O material que sofre esse processo tem sua deterioração causada pela interação físico-química entre ele e o seu meio, o que ocasiona alterações prejudiciais indesejáveis, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso (GENTIL, 2007).

A corrosão é um processo natural e como todos os processos naturais, tende para os mais baixos estados de energia possíveis. Assim, por exemplo, ferro e aço têm uma tendência natural de se combinar com outros elementos químicos para retornar a seus mais baixos estados de energia. Frequentemente eles combinam com oxigênio e água, sendo que ambos estão presentes na maioria dos ambientes naturais, para formar óxidos hidratados de ferro (ferrugem), similares na composição química do minério de ferro originais. A Figura 1 ilustra a corrosão do aço no ciclo de vida de um produto (ASM INTERNATIONAL, 2000).

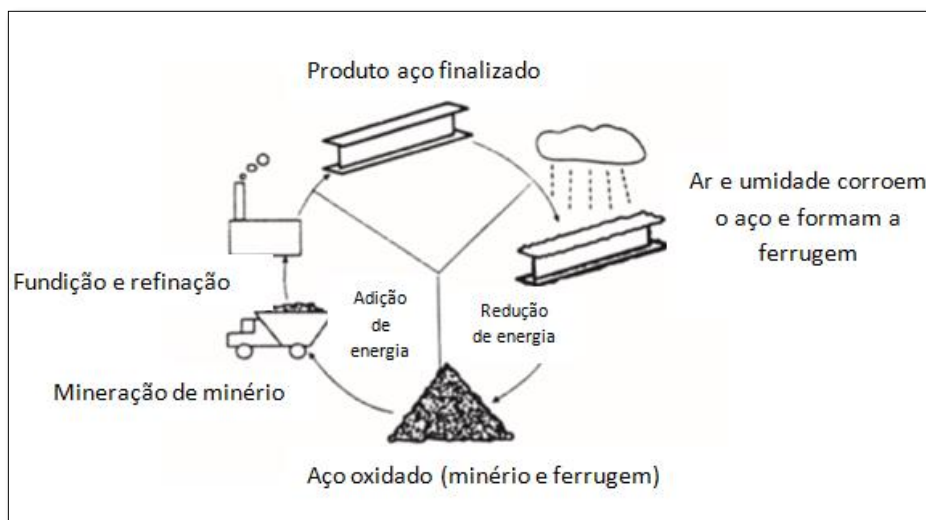


Figura 1 – O ciclo de corrosão do aço.

Fonte: Adaptado de ASM International (2000, p. 1).

Quando se estuda corrosão, é essencial que se tenha o conhecimento tanto do material, como do ambiente em que este está envolvido, pois somente assim torna-se possível avaliar como acontecerão as reações desse sistema. Além desses fatores, sistemas que possuem fluxo ou agitação e cargas mecânicas do material, incluindo a tensão residual no interior do material, tendem a intensificar os problemas de corrosão e também devem ser considerados em um estudo (ASM INTERNATIONAL, 2000).

Consequências dos problemas de corrosão abrangem tanto a área econômica, quanto áreas relacionadas a segurança, entre outras. Alguns exemplos de consequências resultantes da corrosão são:

- Substituição de equipamentos corroídos;
- Superdimensionamento de corrosão;
- Manutenção preventiva;
- Desligamento do equipamento devido à falha de corrosão;
- Contaminação de um produto;
- A perda de eficiência, de forma que os produtos de corrosão superdimensionam e diminuem a taxa de transferência de calor nos permutadores de calor;
 - A perda de produto valioso, por exemplo, a partir de um recipiente que sofreu processo de corrosão;
 - Danos em equipamento adjacente a aquele em que ocorre a falha por corrosão;
 - Falha súbita pode causar incêndio, explosão, libertação de produto tóxico e colapso em construções;
 - Saúde, por exemplo, a poluição devido ao escape de produto do equipamento corroído;
 - O esgotamento dos recursos naturais, incluindo metais e dos combustíveis usados para fabricá-los;
 - A questão estética, considerando que a aparência de um material quando corroído é desagradável para os olhos (ASM INTERNATIONAL, 2000).

A perda de materiais de base por corrosão corresponde a uma parcela significativa do PIB de qualquer país (VERINCK, 2000). No Brasil, o índice de 3,5% do PIB usado por alguns países para estimar o custo da corrosão, e considerando o

valor do PIB brasileiro, estimado pelo Fundo Monetário Internacional (FMI) para 2005, em 632 bilhões de dólares ter-se-ia o valor de 22,12 bilhões de dólares para o custo da corrosão (GENTIL, 2007).

Segundo Gentil (2007, p. 5), quanto mais avançado tecnologicamente for um país, mais elevado o seu gasto com corrosão. Isso ocasiona-se pelo fato de que a corrosão avança de forma paralela ao desenvolvimento tecnológico e, por isso, deve ser tratada como um assunto de grande importância no desenvolvimento de um país.

Considerando que existem muitas formas de corrosão, o presente trabalho terá seu foco no fenômeno de corrosão-erosão, o qual será tratado no tópico seguinte.

2.2 CORROSÃO ASSOCIADA A SOLICITAÇÕES MECÂNICAS: CORROSÃO - EROSÃO

A corrosão - erosão é um termo geral para uma ampla gama de processos associados com fluxos monofásicos ou fluidos multifásicos (POSTLETHWAITE; NESIC, 2000). No processo de corrosão - erosão há a associação de erosão com o processo corrosivo.

O desgaste mecânico gerado através de solicitações mecânicas é também uma forma de degradação de superfícies metálicas, como por exemplo: erosão, abrasão, atrito ou fadiga (CALLISTER JR, 2007). A combinação de desgaste através de solicitação mecânica e corrosão resultam em um ataque mais grave à superfície metálica do que seria se realizado estas ações individualmente (ASM INTERNATIONAL, 2000).

Este tipo de corrosão é encontrado com frequência em tubulações de transporte de fluidos e em hélices, pás de turbinas, válvulas e rotores de bombas centrífugas (Figura 2). No caso de bombas centrífugas, denomina-se cavitação.



Figura 2 - Tubulação que sofreu corrosão - erosão.

Fonte: http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20714/20714_4.PDF

2.2.1 Cavitação

A cavitação é uma forma de corrosão - erosão que é causada pela formação e o colapso de bolhas de vapor de um líquido ao encontro de uma superfície metálica (ASM INTERNATIONAL, 2000). Em bombas centrífugas ela surge da redução da pressão hidrostática do líquido na superfície do rotor através da alta rotação. Há a formação de bolhas ou cavidades que colapsam em regiões de maiores pressões gerando ondas de choque que danificam a superfície dos rotores (Figura 3).

A Figura 4 representa o esquema do processo de cavitação, sendo, (A) Líquido em repouso em temperatura e pressão ambientes. (B) Expansão e formação de bolhas de vapor em temperatura ambiente e pressão reduzida. (C) Compressão e colapso, ou implosão, das bolhas de vapor, em temperatura ambiente e aumento de pressão. (D) Destruição da película de óxido, ou revestimento, pelo impacto resultante da onda de choque transmitida pela implosão das bolhas de vapor e redução da espessura do material metálico.



Figura 3 - Rotor de bomba centrífuga que sofreu cavitação.

Fonte: Gentil (2007).

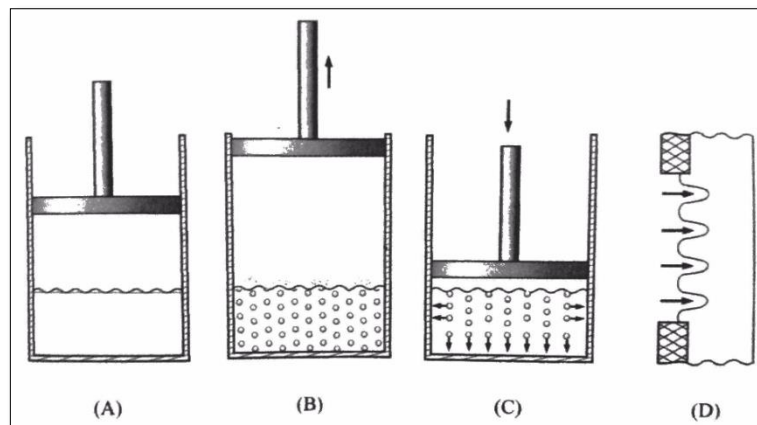


Figura 4 – Esquemática do ataque por cavitação.

Fonte: Gentil (2007, p. 145).

Uma das formas de prevenção dos problemas de corrosão associados ao desgaste em partes metálicas, incluindo a cavitação, é justamente o emprego de um revestimento que seja ao mesmo tempo resistente à corrosão e ao desgaste (FONTANA; GREENE, 1967).

2.3 REVESTIMENTOS METÁLICOS CONTRA CORROSÃO

O revestimento de partes metálicas é uma das formas de minimizar os danos causados pela corrosão - erosão, considerando que este possua uma boa resistência a corrosão e ao desgaste mecânico (FONTANA; GREENE, 1967).

Os revestimentos podem ser obtidos através de vários métodos, sendo um deles o método eletroquímico, onde se pode obter compósitos de matriz metálica com fase dispersa de um material de alta dureza, por exemplo, de partículas abrasivas. Dessa forma combina-se a ductilidade e a proteção à corrosão dada pela matriz metálica com a alta dureza das partículas incorporadas, já que estas aumentam a resistência ao desgaste do material.

Essa técnica eletroquímica de obtenção de revestimento é conhecida como eletrodeposição e os compósitos obtidos através dela são chamados de eletrocompósitos.

Eletrocompósitos com matrizes metálicas consistindo de dois ou mais metais apresentam um estágio de desenvolvimento, tanto científico como tecnológico, bem abaixo daqueles com matrizes de um único metal. Isso ocorre porque o estudo de matriz metálica binária envolve muitas variáveis, as quais aumentam com a inclusão de partículas abrasivas.

Neste trabalho utilizou-se a matriz metálica de CuNi e como partícula dura, partículas cerâmicas de carbeto de silício (SiC).

2.3.1 Revestimento compósito de matriz CuNi com partículas cerâmicas de SiC

Para que o revestimento seja eficiente em termos de propriedades mecânicas e resistência à corrosão para determinada aplicação, o ideal é que sua composição seja similar a da peça a ser revestida, porém, tenha as propriedades citadas como adicionais. Dessa forma, buscou-se utilizar uma matriz metálica similar àquelas dos rotores, com o intuito de avaliar sua possível aplicação como revestimento protetor contra os danos por cavitação. Com relação à composição da matriz metálica, ligas de Cu são muito empregadas na construção de rotores.

Baseado nisto, optou-se por utilizar a matriz de CuNi, a qual possui boa resistência à corrosão, principalmente pelo conteúdo de Cu, o mais nobre. Para aumentar a resistência ao desgaste desta matriz, partículas cerâmicas micrométricas e de alta dureza, sendo estas de SiC, devem ser incorporadas à matriz empregando-se o método da eletrodeposição.

Sendo os rotores de material metálico, em princípio, estes podem ser revestidos eletroliticamente. Um fator a ser levado em conta é a facilidade de operação da técnica de eletrodeposição, a qual não necessita de elevadas temperaturas.

Para eletrodepositar ligas CuNi são necessários complexantes para o cátion do metal mais nobre, o Cu^{2+} , devido à grande diferença dos potenciais padrão de redução (E^0):

Quadro 1 – Diferença de potenciais padrão de redução (E^0).

Semi – reação	$E^0 / \text{V vs. SHE}$
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$	+ 0,342
$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}$	- 0,257

Fonte: Introdução à Ciência dos Materiais para Engenharia (EPUSP, 2011).

Algo a ser acentuado é que optou-se neste trabalho pela não utilização de cianetos na solução de eletrodeposição, sendo utilizado citrato como agente complexante alternativo. O íon cianeto é muito agressivo ao meio ambiente e à saúde humana (DASH; GAUR; BALOMANJUMDER, 2009) e existem pesquisas por complexantes menos agressivos. O ânion citrato é um exemplo (GHOSH, 2006), (RODE; HENNINOT; MATLOS, 2005), (MELO; DE LIMA-NETO; CORREIA, 2011) e (BONHOTE; LANDOLT, 1997).

3 METODOLOGIA

3.1 PREPAROS PARA A REALIZAÇÃO DA ELETRODEPOSIÇÃO

3.1.1 Reagentes

A solução de eletrodeposição foi preparada a partir dos seguintes reagentes (todos de grau PA): sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); sulfato de níquel hexahidratado ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); Citrato de Sódio Dihidratado [$\text{HOC}(\text{COONa})(\text{CH}_2\text{COONa})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] e Hidróxido de Amônio (NH_4OH).

As partículas de SiC (97,73 %) empregadas foram fornecidas pela empresa Treibacher-SchleifmittelBrasil Ltda. Essas partículas possuem diâmetro médio de 9,5 μm e foram utilizadas como recebidas. A água utilizada para preparo das soluções foi deionizada.

3.1.2 Solução de eletrodeposição utilizada para a obtenção dos revestimentos CuNi

A solução de eletrodeposição definida para obtenção dos revestimentos possui a seguinte composição:

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0,15M + $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0,6M + Citrato de Sódio Dihidratado [$\text{HOC}(\text{COONa})(\text{CH}_2\text{COONa})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] 0,3M adicionando-se NH_4OH até se atingir pH 9,0. Esta solução foi baseada em GHOSH (2006). Para o caso da obtenção dos compósitos, foram adicionadas a esta solução, como recebidas, as partículas de Carbetto de Silício (SiC, 97,73 %) de diâmetro médio 9,5 μm .

Na seção Resultados e Discussão serão apresentados os resultados das investigações que levaram a definir esta composição de solução, pois várias outras formulações foram primeiramente testadas e não forneceram bons resultados em termos de estabilidade química.

3.1.3 Preparo da solução de eletrodeposição

Primeiramente pesaram-se os componentes, sulfato de cobre, sulfato de níquel e citrato de sódio separadamente em copos de Becker. Após isso dissolveu-se cada um separadamente em um Becker com água. Misturou-se o sulfato de cobre e o citrato de sódio e mediu-se o pH. Elevou-se o pH até 9 com aproximadamente 3 mL de Hidróxido de Amônio (NH_4OH). Em seguida misturou-se o sulfato de níquel e mediu-se o pH. Neste ponto o pH medido foi de aproximadamente 5,0. Elevou-se o pH até 9,0 com aproximadamente 27 mL de Hidróxido de Amônio (NH_4OH). Após isso, colocou-se a solução em um balão volumétrico e completou-se o volume do balão. Para o caso de eletrodeposições na presença de SiC, duas relações de massa de SiC por volume de solução (C_{SiC}) foram utilizadas: 5 gL^{-1} e 10 gL^{-1} . Optou-se por estas relações pelo fato de que em maiores C_{SiC} há muita sedimentação em solução, tornando parte das partículas não disponíveis para oclusão.

Previamente às eletrodeposições, a solução com as partículas de SiC era agitada com agitador magnético, por um período mínimo de 12 horas para desaglomeração das mesmas. Foram também realizadas deposições em solução sem partículas de SiC, para posteriores comparações e análises. Em ambos os casos, durante a eletrodeposição, a agitação magnética era mantida.

3.1.4 Eletrodos e células eletroquímicas

Os eletrodos de trabalho onde foram aplicados os revestimentos compósitos consistiram de chapas retangulares de aço AISI 1020. A construção dos eletrodos de trabalho ocorreu da seguinte forma: cortaram-se barras retangulares de aço AISI 1020 trefilado, obtendo-se chapas de 0,5 cm de espessura. Após o corte, as chapas obtidas eram retificadas e, posteriormente, aplicada a tinta à base de epóxi em partes da mesma. As laterais e uma das faces eram isoladas completamente com a tinta à base de epóxi, deixando apenas uma das faces expostas. Sobre parte desta face seriam aplicados os revestimentos, onde fixou-se

uma área eletroquimicamente ativa para deposição de $1,7 \times 1,4 \text{ cm}^2$. Esta área era delimitada com um isolante.

O isolamento com a tinta epóxi evita o contato com a solução e reações além da área prevista. O eletrodo era o cátodo da célula eletroquímica e o ânodo foi um cilindro de cobre eletrolítico (99,9%), de área total aproximada de $5,1 \text{ cm}^2$. A célula eletroquímica onde a solução e os dois eletrodos eram colocados possuía capacidade de 100 mL.

3.1.4.1 Pré tratamento do substrato

Para a limpeza e uniformização da superfície do eletrodo de aço, foram realizadas técnicas de polimentos e pré-tratamentos fazendo uso de lixas d'água nas granulações 220, 400 e 600, respectivamente. A lixa de granulação 220 foi usada apenas em alguns casos, onde resquícios de tinta epóxi deveriam ser removidos da superfície, sendo o eletrodo polido em uma só direção nesta etapa. Na lixa 400, o polimento do eletrodo seguiu uma só direção, 90° em relação ao polimento com a lixa 220. No polimento com lixa 600 o eletrodo primeiramente foi lixado com direção de 90° em relação ao polimento anterior (da lixa 400) e, depois de forma circular aleatória, para que não houvesse interferências de direção preferenciais na eletrodeposição. Após esse processo, os eletrodos foram lavados com água deionizada, limpos com álcool e secos, e por último, acetona PA era aplicada com um papel apenas na superfície de trabalho, para eliminar substâncias orgânicas como gorduras aderidas à superfície. O contato apenas da face metálica com a acetona foi necessário, pois verificou-se que com a imersão direta de todo o eletrodo de trabalho, ocorre ataque da acetona à tinta epóxi. Este ataque torna o revestimento borrachoso com perda de aderência, inviabilizando sua utilização.

3.2 REALIZAÇÃO DAS ELETRODEPOSIÇÕES

As eletrodeposições foram realizadas a densidades de corrente constantes (i_g) (galvanostáticas). Estas eram aplicadas por uma fonte de tensão ICEL PS-4001. As espessuras dos depósitos (1) estimadas foram de 30 μm , para que as partículas de SiC de 9,5 μm pudessem ser incorporadas. O valor da carga (Q, em Coulombs) necessária para um depósito del = 30 μm foi encontrada através da Equação 1:

$$Q_{dep} = \frac{Z \cdot F \cdot d \cdot A \cdot l}{MM} \quad (1)$$

Nesta equação: Z é número de elétrons envolvidos na reação de redução dos cátions (no caso, Z = 2 sendo as reações catódicas: $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$ e $\text{Ni}^{2+}_{(aq)} + 2e^- \rightarrow \text{Ni}$; F é a constante de Faraday (96487 C/mol); d a densidade do metal (assumiu-se um valor médio para d entre a do cobre (8,96 g/cm³) e a do níquel (8,9 g/cm³), ou seja, d = 8,93 g/cm³); A a área do eletrodo imersa em solução (2,38 cm²); l a espessura do depósito e MM a massa molar (assumiu-se um valor médio entre as do cobre (63,55 g/mol) e do níquel (58,78g/cm³), sendo MM = 61,13 g/mol). O valor de Q obtido foi de 200,6 C. Com o valor de Q, a densidade de carga de deposição (q_{dep}) estimada para se obter esta espessura foi calculada pela Equação 2:

$$q_{dep} = \frac{Q_{dep}}{A} \quad (2)$$

No caso, q_{dep} foi de 84,29 Ccm⁻². Como se utilizariam diferentes i_g foi necessário se calcular o tempo necessário de eletrodeposição para se atingir essa q_{dep} . No Quadro 2 estão descritos os parâmetros utilizados nos cálculos.

Quadro 2 - Parâmetros e dados utilizados para os cálculos relacionados com a eletrodeposição.

Área do eletrodo (cm ²):	2,38
Espessura do depósito(cm):	0,003
Volume(cm ³):	0,00714
Densidade CuNi(g/cm ³):	8,9
Massa(g):	0,0635
Massa Molar Ni(g/mol):	58,7
Massa Molar Cu(g/mol):	63,55
Número de mols:	0,00104
Constante de Faraday(C/mol de elétron):	96487
Carga dos cátions (Z):	2
Carga Q (C):	200,60
Densidade de Carga q (C/cm ²):	84,29

Fonte: Autoria própria.

Os tempos de eletrodeposição para atingir esta densidade de carga foram calculados a partir da Equação 3:

$$\Delta t = \frac{q_{dep}}{i_g} \quad (3)$$

Inicialmente estavam definidas como densidades de corrente de 10 mAcm⁻² e de 20 mAcm⁻². Os tempos necessários para se atingir q_{dep} de 84,29 Ccm⁻² estão mostrados no Quadro 3.

A eletrodeposição se dá de forma que o eletrodo de trabalho (cátodo) seja imerso em 100 mL da solução com área delimitada de 2,38 cm² e preso à borda da célula para que não haja deposição além da área prevista. O ânodo também é imerso na solução e preso à borda da célula, do lado oposto ao eletrodo de trabalho. Durante a eletrodeposição a solução ficou sob agitação magnética com o agitador magnético IKA C-MAG HS4 na intensidade 5. Isto é necessário para que as

partículas de SiC não sedimentem no fundo da célula. Mesmo quando a deposição foi feita sem partículas, manteve-se a agitação, pois todas as deposições devem seguir o mesmo padrão para posteriores comparações. O ajuste da corrente foi obtido com auxílio de um multímetro conectado em série entre a fonte e a célula. O eletrodo de trabalho é conectado ao pólo negativo da fonte e o de cobre ao positivo, fechando-se assim o circuito. Para cada condição de eletrodeposição, amostras foram obtidas em duplicatas.

Quadro 3 - Valores de tempo e corrente empregados nas eletrodeposições.

Densidade de corrente/(mAcm ⁻²)	Corrente/mA	Tempo/s	Tempo/h	Tempo/min
20	47,6	4214,3	1,17	70
10	23,8	8428,6	2,34	140

Fonte: Autoria própria.

3.3 ENSAIOS DE MICRODUREZA

A dureza é uma propriedade mecânica utilizada em estudos e pesquisas mecânicas e metalúrgicas e, principalmente na especificação e comparação de materiais. O método utilizado foi o da dureza Vickers. O número de dureza Vickers é calculado dividindo o valor da carga de ensaio P pela área de impressão S. Os ensaios de microdureza foram realizados em um equipamento Micro Hardness Tester modelo HV-1000B. As medidas foram realizadas em duplicatas de amostras, com no mínimo 10 medições em cada depósito, considerando como resultado a média das medidas realizadas.

Realizou-se essas medidas verticalmente e horizontalmente em uma região central da área do depósito, conforme a Figura 5.



Figura 5 - Região de obtenção de medidas de microdureza.

Fonte: Autoria própria.

3.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) E ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA POR EDS

A morfologia superficial dos depósitos obtidos foi realizada com um microscópio eletrônico de varredura FEI Quanta 200 microscope, acoplado a um EDS-Oxford software INCA, para análise química semiquantitativa.

3.5 MEDIDAS DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO

Para a realização destas medidas fixou-se a área do revestimento a ser analisada utilizando-se fita de Teflon[®]. A área do revestimento que ficou imersa foi de aproximadamente 17x14mm.

.Representações de Tafel ($\ln i$ vs. E) foram obtidas a partir de curvas de polarização: densidade de corrente (i) vs. Potencial (E). Utilizou-se o potenciostato/galvanostato FAQ 200. Foi utilizado uma solução de NaCl 0,6 M para a obtenção das medidas. A perturbação consistiu na aplicação de diferentes correntes e a leitura do potencial respectivo entre o eletrodo com o revestimento (eletrodo de trabalho) e o eletrodo de referência calomelano saturado (ECS). Para a leitura de potencial utilizou-se um multímetro. A corrente era aplicada utilizando-se grafite como contra-eletrodo. Antes das polarizações, o eletrodo era imerso na solução e o potencial de repouso era monitorado com o auxílio de um multímetro até sua

estabilização. O tempo de estabilização foi de aproximadamente 2 horas. Atingido o potencial de repouso estável, a perturbação em corrente iniciou-se, primeiramente para o lado catódico. A perturbação catódica iniciou-se de baixas para altas correntes catódicas. Definido o perfil catódico, interrompia-se a polarização e, na mesma solução esperava-se o potencial de repouso voltar a valores próximos do potencial de repouso antes da polarização catódica. Atingido o potencial de repouso próximo do inicial partia-se para a polarização anódica, desde baixas até altas correntes anódicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PESQUISA E PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO PARA ELETRODEPOSIÇÃO DO COMPÓSITO CuNi - SiC

Inicialmente, investigando-se os banhos de CuNi da literatura verificou-se que nos mesmos há uma concentração de íons Cu^{2+} muito baixa comparada com a de Ni^{2+} , por exemplo, a seguinte formulação (LOZANO; PODLAHA, 2008): sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0,025 M; sulfato de níquel hexahidratado ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0,7M; Citrato de Sódio Dihidratado [$\text{HOC}(\text{COONa})(\text{CH}_2\text{COONa})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] 0,25 M. Estas soluções são estáveis quimicamente, por um bom período de tempo. Preparou-se esta solução e verificou-se que o pH da mesma foi de 4,32 e manteve-se estável, sem precipitação de complexos insolúveis, por um bom período de tempo. Esta solução ou outras de composições similares da literatura foram descartadas para a obtenção dos filmes CuNi. A razão para isto deve-se ao fato de que se necessita de uma alta espessura de depósito (30 μm), o que corresponde a alta carga/massa de Cu depositada. Por cálculos de quantidade depositada, para esta espessura, chegou-se ao valor de redução na concentração de Cu^{2+} em solução de $1,468 \times 10^{-2}$ M (para o volume de 100 mL de solução de eletrodeposição utilizada). Isto corresponde a aproximadamente 59 % de redução na $[\text{Cu}^{2+}]$. Este valor é muito alto, referindo-se ao volume empregado de 100 mL. Para processos contínuos nessas altas cargas, soluções de baixas $[\text{Cu}^{2+}]$ seriam inviáveis.

Como forma de solucionar esse problema, aumentou-se a concentração de sulfato de cobre para 0,15M apresentando assim, pH 5. A alteração na concentração resultou em uma solução não estável, que apresentou corpo de fundo no balão volumétrico dentro de um dia. Neste ponto do trabalho, foram levantadas duas possíveis modificações, ambas com a adição de NH_4OH . Na primeira formulação, preparou-se uma dissolução de CuSO_4 e citrato de sódio, adicionando-se NH_4OH até se atingir o pH de 9, e adição posterior de sulfato de níquel, onde o pH caiu para 6,35. Esta solução apresentou-se estável.

Na segunda formulação, o procedimento de seu preparo foi descrito na subseção **Preparo da solução de eletrodeposição** em **Metodologia**. Esta última formulação também permaneceu estável e foi a adotada nas eletrodeposições.

4.2 OBTENÇÃO ELETROQUÍMICA DE DEPÓSITOS CuNi e CuNi - SiC

4.2.1 Deposições galvanostáticas sem partículas de SiC

Durante as deposições sem partículas, com densidades de correntes de 10 mAcm^{-2} e de 20 mAcm^{-2} , observou-se que todos os depósitos obtidos em densidade de corrente 10 mAcm^{-2} apresentaram deslocamento do substrato de aço (Figura 6). O depósito, após se interromper a eletrodeposição, apresentava pontos de trinca e após certo tempo, devido às tensões do depósito, deslocava totalmente. Já a 20 mAcm^{-2} o depósito não apresentou deslocamento. Portanto, decidiu-se mudar as densidades de corrente para taxas maiores, neste caso, adotou-se 20 mAcm^{-2} e 40 mAcm^{-2} onde houve poucos casos de deslocamento. Na Figura 7 são apresentados alguns depósitos nestas duas i_g .



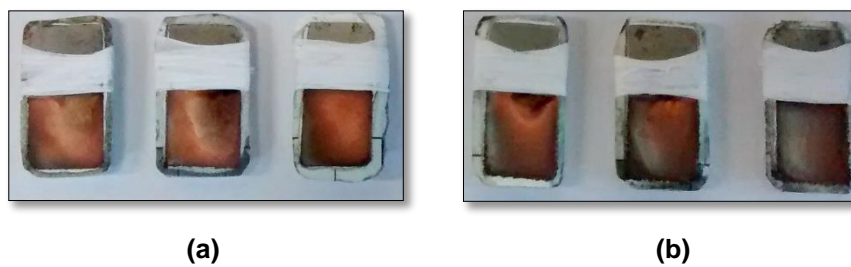
Figura 6 - Depósitos de CuNi a 10 mAcm^{-2} de solução sem SiC, nos quais houve o deslocamento do revestimento.
Fonte: Autoria própria.



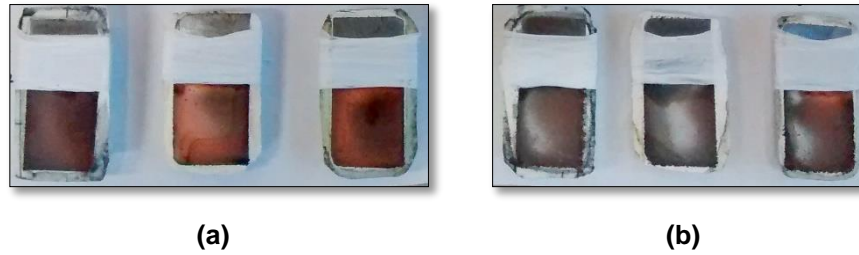
**Figura 7 - Depósitos de CuNi em: (a) i_g de 20 mAcm^{-2} e (b) i_g de 40 mAcm^{-2} . Obtidos de solução sem SiC.
Fonte: Autoria própria.**

4.2.2 Deposições galvanostáticas com partículas de SiC

Para esta condição escolheram-se 5 gL^{-1} e 10 gL^{-1} como C_{SiC} . Para C_{SiC} de 5 gL^{-1} , em i_g de 20 mAcm^{-2} , houve alguns casos de deslocamento dos depósitos. Já em 40 mAcm^{-2} , isto não foi observado. Depósitos nestas condições estão mostrados na Figura 8. Deve-se observar que na ausência de SiC, os depósitos a 20 mAcm^{-2} não apresentavam deslocamento. Este efeito do SiC, na obtenção dos compósitos, deve ser levado em conta. Nas eletrodeposições com C_{SiC} 10 gL^{-1} não se observaram deslocamentos em nenhuma i_g . Os depósitos foram contínuos e aderentes (Figura 9).



**Figura 8 - Depósitos de CuNi obtidos de solução com C_{SiC} de 5 gL^{-1} . (a) i_g de 20 mAcm^{-2} ; (b) i_g de 40 mAcm^{-2} .
Fonte: Autoria própria.**



**Figura 9 - Depósitos de CuNi obtidos de solução com C_{SiC} de 10 gL^{-1} . (a) i_g de 20 mAcm^{-2} ; (b) i_g de 40 mAcm^{-2} .
Fonte: Autoria própria.**

4.3 AVALIAÇÃO DA MICRODUREZA

Ao observar-se as medidas de microdureza dos depósitos com partículas de SiC e compará-las às medidas dos depósitos sem partículas, pode-se perceber um aumento de microdureza destes primeiros. Ainda dentro desse aumento, na C_{SiC} de 10 gL^{-1} e i_g de 40 mAcm^{-2} o aumento foi significativamente maior. Este resultado foi importante para indicar possíveis condições de obtenção dos revestimentos com propriedades adequadas no uso contra corrosão - erosão. Essas medidas podem ser mais bem observadas na Figura 10 e no Quadro 4.

A dispersão na medida de microdureza para cada amostra é significativa, dado que o tamanho micrométrico das partículas e a espessura do depósito estão praticamente na mesma escala. A indentação pode atingir regiões com partículas ocluídas ou não. Não está havendo uma distribuição homogênea das partículas dentro da matriz CuNi.

Quadro 4 - Medidas de Microdureza (MD) e Desvio Padrão (DP).

i_g (mAcm^{-2})	MD Sem partículas	DP Sem partículas	MD 5 gL^{-1} SiC	DP 5 gL^{-1} SiC	MD 10 gL^{-1} SiC	DP 10 gL^{-1} SiC
20	281	30,14	349,5833	32,0835	404,9167	70,92
40	177,38	21,28	278	64,29101	528,5	67,64

Fonte: Autoria própria.

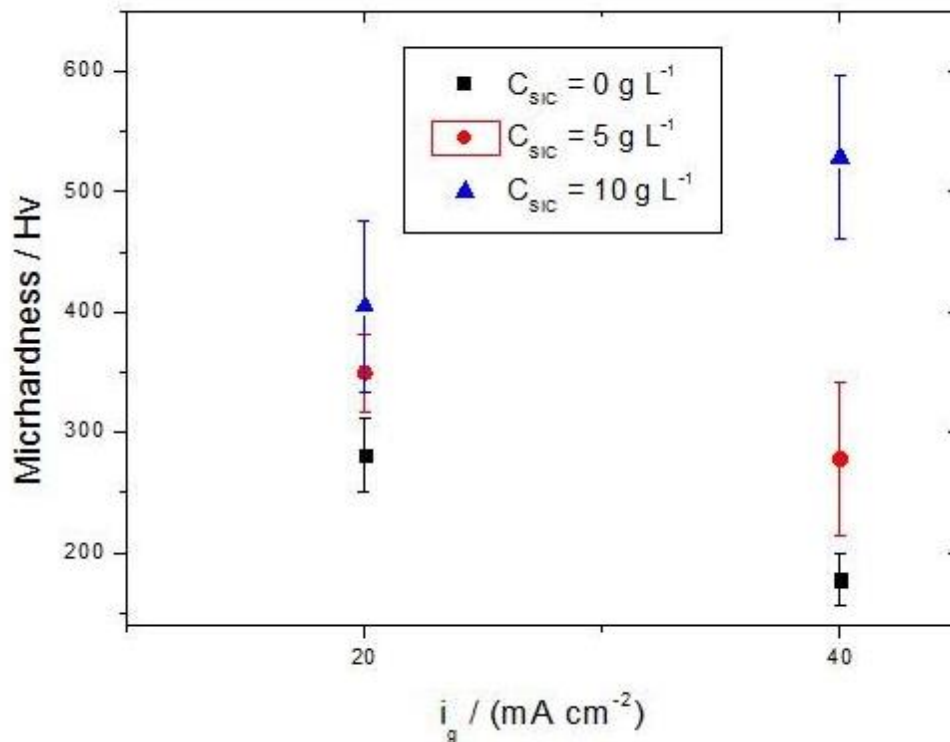


Figura 10 - Variação da microdureza em função da densidade de corrente (i_g) e de C_{SiC} para revestimentos CuNi e SiC.
Fonte: Autoria própria.

4.4 AVALIAÇÃO DE MEV E ANÁLISE SEMIQUANTITATIVA POR EDS

Conforme análise por MEV e EDS, pode-se observar que houve a incorporação de partículas de SiC no depósito e assim a obtenção de compósitos CuNi - SiC. Os depósitos nestas condições foram aderentes e são apresentados na Figura 11 e Figura 12, onde observa-se partículas de SiC semiocluídas à matriz de CuNi nas Figuras (b) e (c) quando comparadas a (a) de depósitos sem partículas, comprovando que o compósito CuNi - SiC foi obtido.

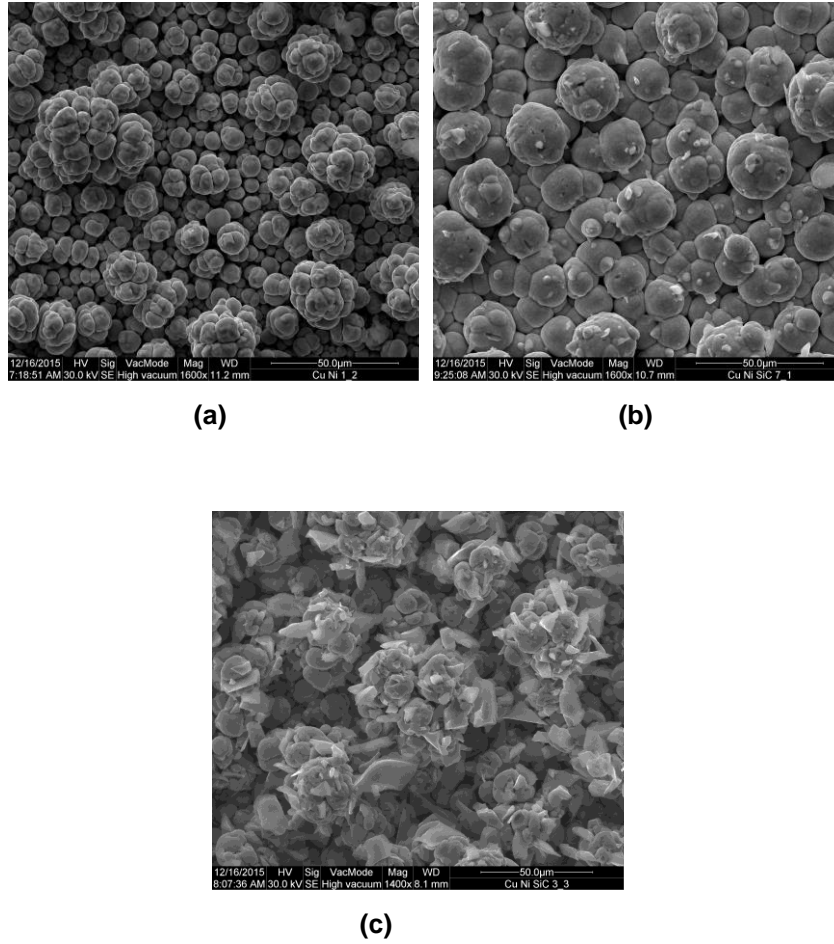


Figura 11 - Depósitos de CuNi obtidos com i_g de 20 mAcm^{-2} e solução (a) sem partículas; (b) com C_{SiC} de 5 gL^{-1} ; (c) com C_{SiC} de 10 gL^{-1} .

Fonte: Autoria própria.

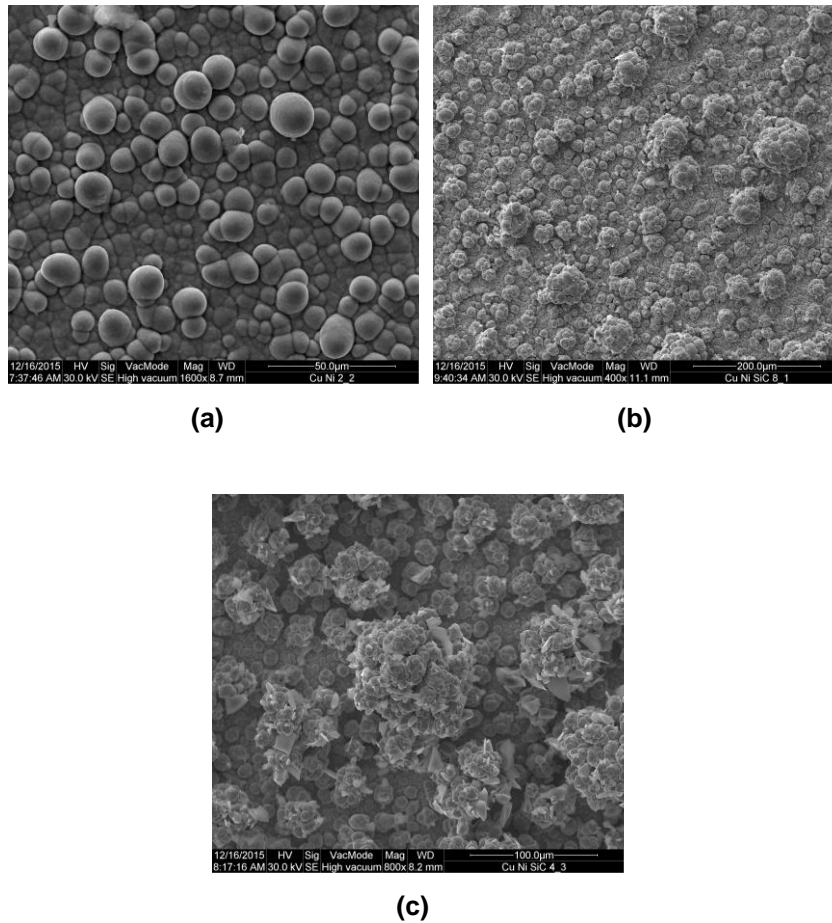
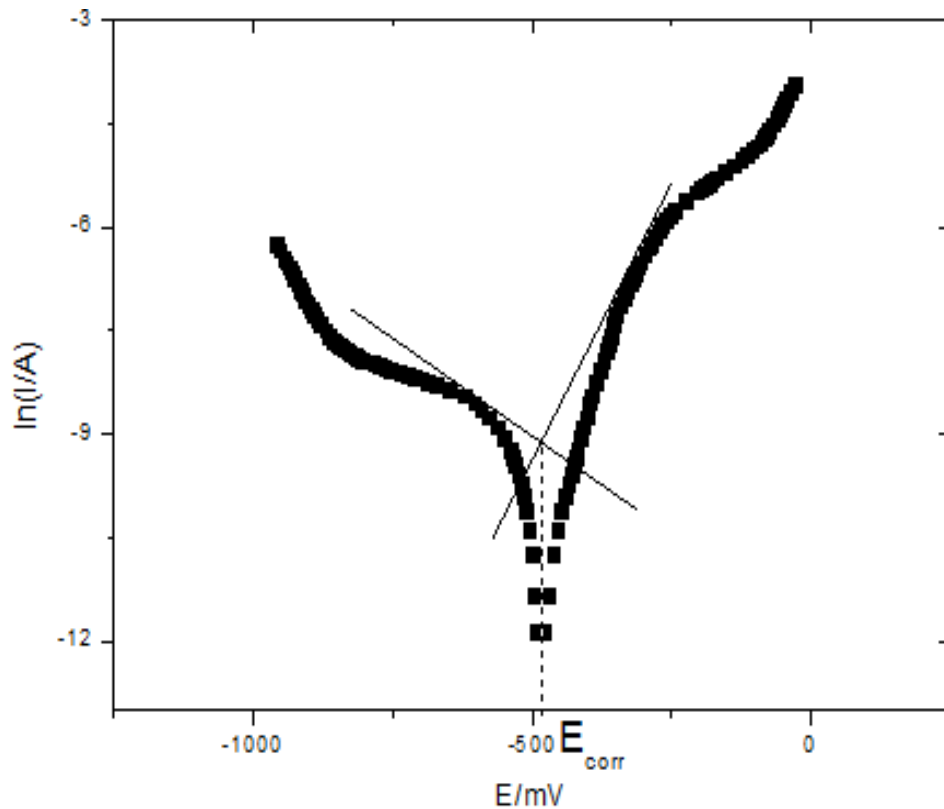


Figura 12 - Depósitos de CuNi obtidos com i_g de 40 mAcm^{-2} e solução (a) sem partículas; (b) com C_{Sic} de 5 gL^{-1} ; (c) com C_{Sic} de 10 gL^{-1} .

Fonte: Autoria própria.

4.5 ESTUDO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO DOS REVESTIMENTOS OBTIDOS

O estudo da resistência à corrosão foi realizado através das representações de Tafel obtidas a partir das curvas de polarização, como as representadas na Figura 13.



**Figura 13 – Representação de Tafel do depósito de CuNi com C_{SiC} de 10 gL^{-1} a i_g de 20 mAcm^{-2} .
Fonte: Autoria própria.**

Com base nos dados obtidos através das representações de Tafel construiu-se gráficos que auxiliassem na visualização dos resultados. A Figura 14 demonstra E_{corr} vs. i_g . Na condição de C_{SiC} 5 e 10 gL^{-1} , E_{corr} fica mais positivo com i_g . Já na condição de C_{SiC} 0 gL^{-1} , E_{corr} torna-se mais negativo. Tomando-se por base apenas E_{corr} , compósitos CuNi-SiC seriam mais nobres que CuNi. Esses dados podem ser melhor observados no Quadro 5.

Quadro 5 - Medidas de E_{corr} /mV.

i_g (mAcm^{-2})	Sem partículas	5 gL^{-1}	10 gL^{-1}
20	- 451	- 484	- 488
40	- 536	- 451	- 451

Fonte: Autoria própria.

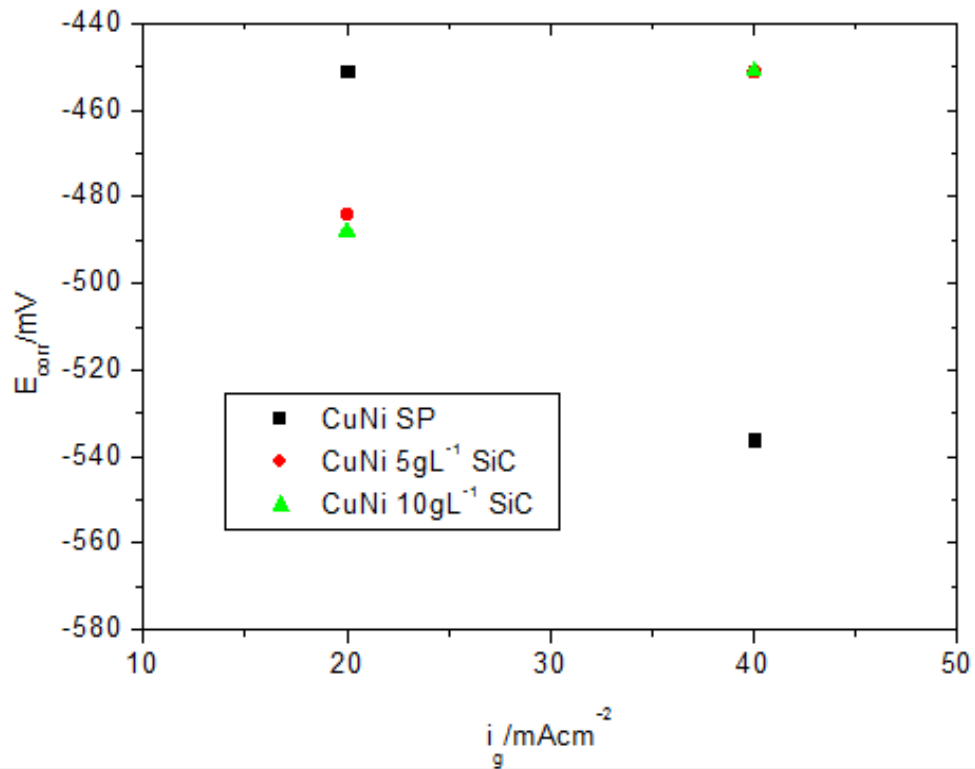


Figura 14 - Análise de E_{corr} obtidas através de representações de Tafel.
Fonte: Autoria própria.

Um fator de grande importância para uma análise qualitativa da resistência à corrosão é a resistência à polarização (R_p). R_p é dada por:

$$R_p = \left(\frac{dE}{di} \right)_{\tau \rightarrow 0} \quad (4)$$

τ é a polarização, definida como:

$$\tau = E - E_{\text{corr}} \quad (5)$$

Ou seja, R_p é a inclinação da curva E vs. I próxima ao potencial de corrosão. Esta região é aproximadamente linear e pode-se determinar R_p sem muitos problemas. Porém, contribuições de correntes não-faradaicas e da difusão podem dificultar esta análise. R_p está inversamente relacionada com a taxa de corrosão do material. Quanto maior for a R_p de um depósito, mais resistente à corrosão este é, ou seja, menor sua taxa de corrosão. Valores de R_p foram obtidos para os depósitos das curvas I vs. E . em NaCl 0,6 M e estão mostrados na Figura 15

onde os resultados mostram que para CuNi ($C_{SiC} = 0 \text{ gL}^{-1}$), R_p aumenta com i_g , aumentando sua resistência à corrosão. Já para CuNi-SiC, em ambas C_{SiC} , R_p diminui com i_g . Os compósitos teriam menor resistência à corrosão. Esses dados podem ser melhor observados Quadro 6.

Quadro 6 - Medidas de R_p (mVA^{-1}).

i_g (mAcm^{-2})	Sem partículas	5 gL^{-1}	10 gL^{-1}
20	18,73	21,74	72,9
40	52,35	3,9	1,55

Fonte: Autoria própria.

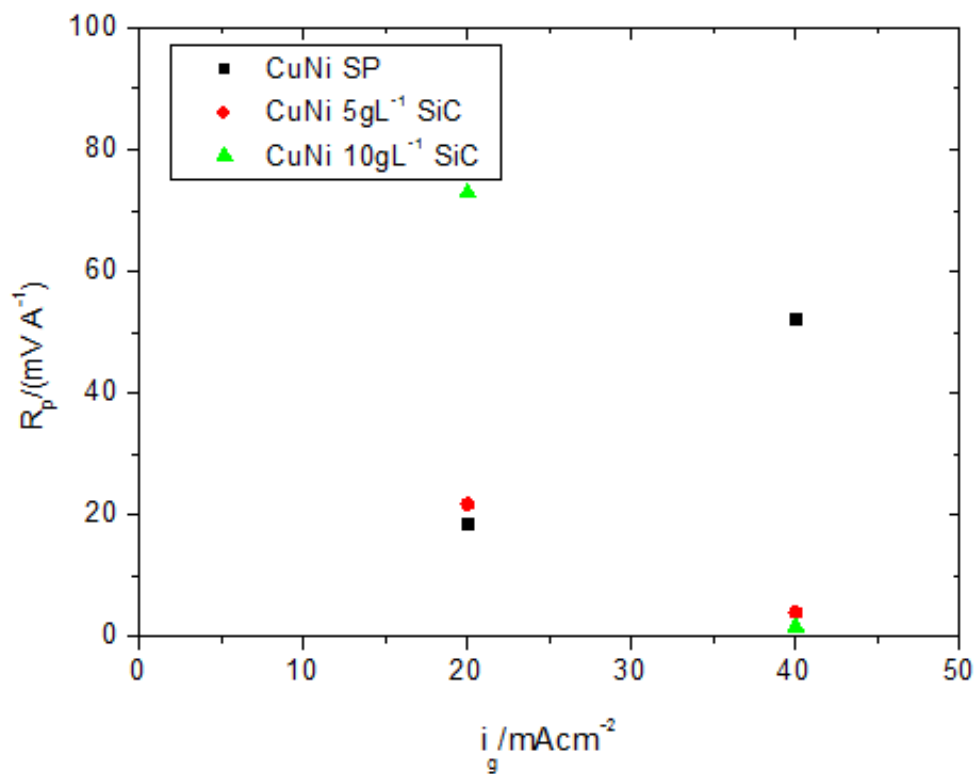


Figura 15 - Análise de R_p obtidas através de representações de Tafel.
Fonte: Autoria própria.

4.5.1 Análise de R_p e composição química

A composição química interfere diretamente na resistência a corrosão. A Figura 16 apresenta dois gráficos onde pode-se visualizar o R_p dos depósitos segundo a porcentagem (%) mássica de Ni nos mesmos. Esta porcentagem mássica apenas é uma indicação dada pelo EDS, valendo aqui sua variação e não seu valor absoluto. Na i_g de 20 mAcm^{-2} os depósitos com C_{sic} apontam porcentagens menores de Ni e maiores R_p , ao contrário dos depósitos com C_{sic} obtidos em i_g de 40 mAcm^{-2} que apresentam uma maior porcentagem de Ni e menores R_p . Isso ocorre devido ao fato do Ni ser menos nobre que o Cu, e com seu aumento no depósito, o R_p tende a ser menor, ou seja, o depósito tende a ser menos resistente à corrosão.

Esses dados podem ser melhor observados no Quadro 7.

Quadro 7 - Medidas de Porcentagem mássica (%) de Ni e de R_p /(mVA^{-1})

Porcentagem mássica (%) de Ni			
i_g (mAcm^{-2})	Sem partículas	5 gL^{-1}	10 gL^{-1}
20	5,2	0,63	4,36
40	0,04	10,01	25,8
Medidas de R_p /(mVA^{-1})			
20	18,73	21,74	72,9
40	52,35	3,9	1,55

Fonte: Autoria própria.

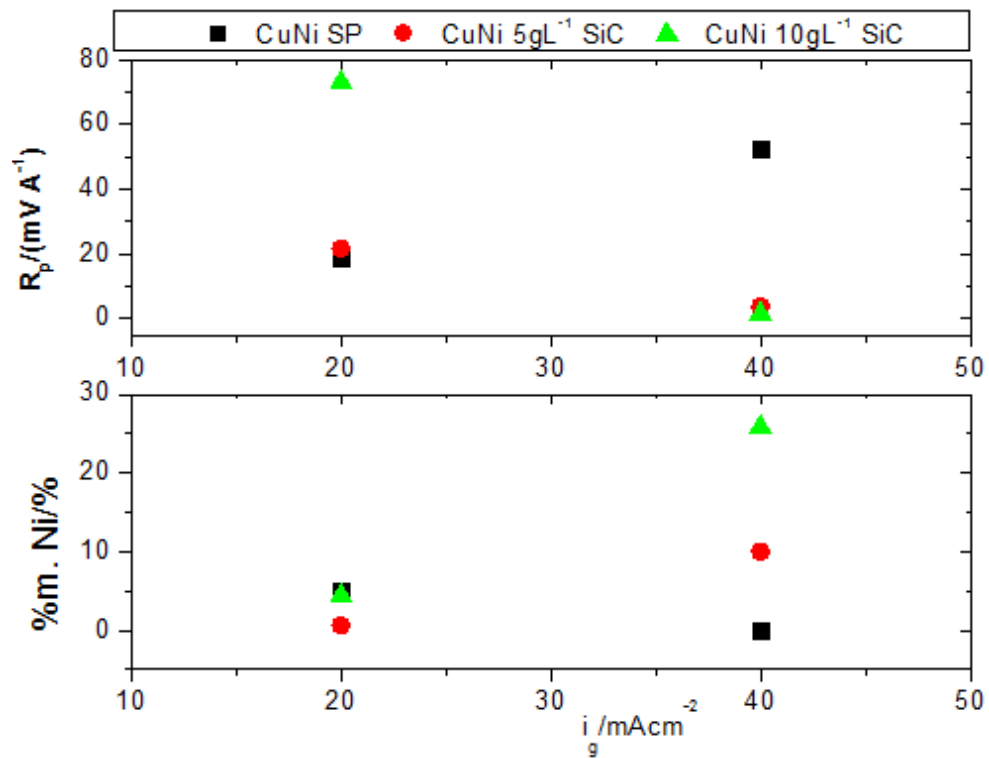


Figura 16 - Análise de R_p segundo porcentagem (%) de Ni dos depósitos.
Fonte: Autoria própria.

Para o apontamento dos revestimentos que apresentaram melhores resultados necessitaria saber-se sua aplicação. Nas condições de obtenção em 40 mAcm^{-2} os revestimentos CuNi - SiC apresentaram uma alta microdureza, porém uma resistência à corrosão menor do que em revestimentos CuNi. No caso de obtenção a 20 mAcm^{-2} , os revestimentos apresentaram uma resistência mecânica menor que a 40 mAcm^{-2} , porém, maior que em revestimentos CuNi. A resistência à corrosão também apresentou-se maior que em revestimentos CuNi nestas condições. Dessa forma, em situações onde necessitaria das duas características, resistência à corrosão e resistência ao desgaste, revestimentos obtidos em 20 mAcm^{-2} e $C_{\text{SiC}} 10 \text{ gL}^{-1}$ seriam os mais aplicáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dessa pesquisa foi possível se definir uma solução de eletrodeposição com alta concentração de Cu^{2+} e estável para a obtenção de compósitos de CuNi – SiC.

Para as soluções de eletrodeposição com SiC foram definidas C_{SiC} de 5 e 10 gL^{-1} , foi possível encontrar condições que proporcionassem depósitos aderentes e que pudessem ser analisados segundo os parâmetros posicionados nos objetivos deste trabalho.

Como uma das formas de caracterizar esses revestimentos, realizou-se ensaios de microdureza, onde apresentou-se um aumento de microdureza nos depósitos com C_{SiC} ao compará-los a depósitos sem partículas. Esse aumento demonstrou-se significativamente maior em depósitos obtidos com C_{SiC} de 10 gL^{-1} e i_g de 40 mAcm^{-2} .

Nas análises de MEV e EDS, pode-se observar a inclusão de partículas de SiC na matriz metálica de CuNi, concluindo-se que foi possível se obter compósitos CuNi – SiC.

Nos ensaios de corrosão obteve-se as representações de Tafel dos depósitos através das curvas de polarização, definindo-se assim seus potenciais de corrosão (E_{corr}). Ao analisar E_{corr} pode-se dizer que depósitos obtidos com C_{SiC} de 10 gL^{-1} e i_g de 40 mAcm^{-2} seriam mais resistentes à corrosão. Porém, medidas de R_p mostraram que estes depósitos teriam menor resistência à corrosão. Esta, por ser mais realista que E_{corr} , deve ser mais considerada na análise.

Dentro da análise de composição química, observou-se a variação da porcentagem de níquel conforme os parâmetros utilizados na obtenção de cada depósito. Esse é um fator de grande importância, devido ao fato deste componente possuir uma boa dureza e influenciar diretamente nas medidas de microdureza. Em termos de pesquisas futuras, uma análise mais profunda deve ser realizada para definir se a microdureza dos compósitos é referente ao Ni ao invés do SiC.

De forma geral, conseguiu-se obter revestimentos compósitos de CuNi – SiC com propriedades de resistência mecânica e resistência à corrosão superiores a CuNi. CuNi – SiC a 20 mAcm^{-2} e 10 gL^{-1} de SiC seriam os depósitos com estas características.

REFERÊNCIAS

BONHOTE, C.; LANDOLT, D. Microstructure of Ni-Cu multilayers electrodeposited from a citrate electrolyte. **Electrochim. Acta.** v.42, p. 2407-2417, 1997.

CALLISTER JR, W. D. **Materials Science and Engineering: an introduction.** 7thed. New York: John Wiley, 2007.

Corrosion: understanding the basics. Ohio: ASM International, 2000.

DASH, R.R.; GAUR, A; BALOMAJUMDER, C. **J. Hazard. Mat.** 163 (2009) 1–11.

GENTIL, V. **Corrosão.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GHOSH, S K. Improved pitting corrosion behaviour of electrodeposited nanocrystalline Ni-Cu alloys in 3.0 wt.% NaCl solution. **J. Alloys Comp.**,v.426, p.235-243, 2006.

FONTANA, M. G.; GREENE, N. D. **Corrosion Engineering.** New York: McGraw-Hill, 1967.

LOZANO-MORALES, A.; PODLAHA, E. J. Electrodeposition of NiCu-matrix nanocomposites using a rotating cylinder Hull cell. **J. Appl. Electroch.**v. 38, p. 1707-1714, 2008.

MELO, L. C.; DE LIMA-NETO, P.; CORREIA, A. N. The influence of citrate and tartrate on the electrodeposition and surface morphology of Cu-Ni layers. **J. Appl. Electroch.** v.41, p.415-422, 2011.

POSTLETHWAITE, J.; NESIC, S. Erosion-Corrosion in Single and Multiphase Flow. In: **Uhlig's Corrosion Handbook.** Ed. Revie, R. W. New York: John Willey, 2000, Ch.15.

RODE, S; HENNINOT, C; MATLOS, M. Complexation chemistry in nickel and copper-nickel alloy plating from citrate baths. **J. Electroch.Soc.** v. 152, p.C248-C254, 2005.

VERINCK, E. D. Economis of Corrosion. In: **Uhlig's Corrosion Handbook**. Ed. Revie, R. W. New York: John Willey, 2000, Ch. 2.