



**Impactos das
Tecnologias na
Engenharia Química**

**Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)**

Atena
Editora

Ano 2019

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

134	Impactos das tecnologias na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 1) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-237-1 DOI 10.22533/at.ed.371190304 1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série. CDD 660.76
-----	--

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Inovações tecnológicas surgem a todo o momento, em todo o mundo, sendo utilizadas como uma ferramenta estratégica para manutenção e crescimento dos negócios nas indústrias. A Engenharia Química foi uma das carreiras que mais contribuiu para a evolução da Era Industrial para a Era Moderna.

A preocupação em desenvolver produtos e processos de produção torna a Engenharia Química responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características.

A Engenharia Química trabalha com a manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementando processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

Neste primeiro volume, organizado para você, apresentamos o papel do Engenheiro Químico no mercado de trabalho, pois este aplica conhecimentos adquiridos no estudo de Química e de Engenharia para criar soluções voltadas à produção ou ao uso de substâncias químicas. É o profissional que constrói um elo entre a ciência e a manufatura. Cabe ao engenheiro químico lidar com a formulação e a solução de problemas associados à indústria química, bem como trabalhar na operação e manutenção de sistemas. Também são expostos, neste volume, trabalhos relacionados ao ensino teórico e prático de Engenharia Química.

Além disso, encontram-se trabalhos relacionados com aplicações estatísticas, simulações e otimização de processos para melhoria de utilização de produtos e subprodutos. Assim como são expostos trabalhos de caracterização de materiais e alterações em processos químicos utilizando novas técnicas de análise de produto, avaliando comportamento, característica de sistemas, propriedades físico-químicas e alteração de composição de produtos já utilizados no mercado.

Baseado nestes trabalhos, convidamos você a aperfeiçoar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, processos e técnicas na área, mostrando o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
O PAPEL DO ENGENHEIRO QUÍMICO NO MERCADO DE TRABALHO: PRODUÇÃO DE UM GUIA PRÁTICO DIGITAL DESTINADO AOS GRADUANDOS E DEMAIS INTERESSADOS NA PROFISSÃO	
Raphael Carlos Rosa Pereira Eder Dias da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3711903041	
CAPÍTULO 2	8
GAMEQ: JOGO PARA O ENSINO NA ENGENHARIA QUIMICA	
Riccardo Cafagna Miguel do Valle Fróes Negreiros Falcão Felipe Emmanouil Martires Stamoglou Ana Lucia Barbosa de Souza Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa	
DOI 10.22533/at.ed.3711903042	
CAPÍTULO 3	17
ELABORAÇÃO E AUTOMAÇÃO DE PROTÓTIPO DE REATOR CSTR CONSTRUÍDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO VOLTADO À EDUCAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Sauro Franceschi de Carvalho Emeson de Souza Lemos Kevelyn Carolina Motta Sbravati	
DOI 10.22533/at.ed.3711903043	
CAPÍTULO 4	27
PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE MÓDULO CONTÍNUO A PARTIR DE MATERIAIS DE BAIXO CUSTO COMO IMPLEMENTAÇÃO DO ENSINO EXPERIMENTAL DE ENGENHARIA QUÍMICA	
Cristiane Daliassi Ramos de Souza Igor Moraes Bezerra Calixto Sauro Franceschi de Carvalho Matheus Macedo Teixeira Rafaela Misseia Cinque de Lima Marco Antônio de Alcântara Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.3711903044	
CAPÍTULO 5	36
O SIMULADOR DO FUTURO APLICADO À INDÚSTRIA	
Fernanda Martins	
DOI 10.22533/at.ed.3711903045	
CAPÍTULO 6	43
TERMODINÂMICA QUÍMICA – COMPREENDENDO DE FORÇAS INTERMOLECULARES A COEFICIENTE DE ATIVIDADE	
Lisandra Ferreira de Lima Admilson Lopes Vieira	
DOI 10.22533/at.ed.3711903046	

CAPÍTULO 7 53

DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE EQUILÍBRIO SÓLIDO-LÍQUIDO DE SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS (DES) EMPREGANDO A CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

Helena Pletsch
Mariana Carolina Gipiela Corrêa Dias
Marcos Rogério Mafra

DOI 10.22533/at.ed.3711903047

CAPÍTULO 8 59

ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS POR TÉCNICAS ESTATÍSTICAS APLICADAS A SISTEMAS DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO

Rebeca Albino de Jesus
Ezequiel José da Silva Honorato
Fábio George Nogueira Cruz
José Nilton Silva

DOI 10.22533/at.ed.3711903048

CAPÍTULO 9 73

COMPARAÇÃO DE PERFIS DE VELOCIDADE OBTIDOS POR TUBO DE PITOT E POR SOFTWARE DE SIMULAÇÃO ANSYS CFX

Victor Felipe Arthur Coutinho Ladeia
Rosilanny Soares Carvalho
Anna Clara Marques de Queiroz
João Carlos Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.3711903049

CAPÍTULO 10 80

ENGENHARIA DE PROCESSOS: DIMENSIONAMENTO, SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DE SISTEMAS DE EVAPORAÇÃO MÚLTIPLO EFEITO DE INDÚSTRIAS DE CELULOSE *KRAFT*

Jamilly Marques Gasparoni
Cássia Regina Santos Nunes Almeida
Gustavo Matheus de Almeida

DOI 10.22533/at.ed.37119030410

CAPÍTULO 11 96

PROJETO DE HIDROCICLONES USANDO OTIMIZAÇÃO ROBUSTA E ESTUDO DO EFEITO DA ROBUSTEZ

Vitor Alves Garcia
Fran Sérgio Lobato
Luiz Gustavo Martins Vieira

DOI 10.22533/at.ed.37119030411

CAPÍTULO 12 111

SELEÇÃO DE VARIÁVEIS E CONTROLE DE COMPOSIÇÃO POR INFERÊNCIA DE TEMPERATURA EM PROCESSO PRODUTIVO DO ETILBENZENO

Arioston Araújo de Moraes Júnior
Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas
Paulo Romero de Araujo Mariz
Emanuella Francisca de Lacerda Vieira
Marcelo da Silva Pedro
Jonas Laedson Marinho da Silva Santos

DOI 10.22533/at.ed.37119030412

CAPÍTULO 13	119
INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DE PH, TEMPERATURA E TEMPO DE VAPORIZAÇÃO NO PROCESSO DE TINGIMENTO DE TECIDOS	
Wanyr Romero Ferreira Wilson Costa Resende Aline Pereira Leite Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.37119030413	
CAPÍTULO 14	128
ANÁLISE CORROSIVA DO AÇO 304 QUANDO SUBMETIDO AO PROCEDIMENTO DE GALVANOPLASTIA	
Renata de Oliveira Marinho Marcelo Batista Queiroz Eudesio Oliveira Vilar Márcia Cristina de Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.37119030414	
CAPÍTULO 15	140
EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO	
Arthur Filgueira de Almeida Bianca Oliveira Evaristo Josiane Dantas Costa Mikarla Baía de Sousa Nathália Cristina Morais Lia Fook Renato Alexandre Costa de Santana Ana Regina Nascimento Campos	
DOI 10.22533/at.ed.37119030415	
CAPÍTULO 16	148
FILTRO DE KALMAN ESTENDIDO E REDE NEURAL ARTIFICIAL NA ESTIMATIVA DE CONCENTRAÇÃO EM UM REATOR QUÍMICO NÃO ISOTÉRMICO	
Arioston Araújo de Moraes Júnior Leopoldo Oswaldo Alcazar Rojas Marcelo da Silva Pedro Paulo Romero de Araujo Mariz Emanuella Francisca de Lacerda Vieira Jonas Laedson Marinho da Silva Santos Rodrigo Marinho Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.37119030416	
CAPÍTULO 17	153
COMPÓSITO DE NANOCELULOSE BACTERIANA E NANOTUBOS DE CARBONO	
Guilherme Colla Vinícius Heidemann de Souza Fernanda Vieira Berti Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030417	

CAPÍTULO 18	160
IMOBILIZAÇÃO DE COLÁGENO HUMANO TIPO I EM MEMBRANAS DE NANOCELULOSE BACTERIANA	
Ana Carolina Jorge Meyer Emily Marques dos Reis Luismar Marques Porto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030418	
CAPÍTULO 19	167
CENTRIFUGATION STEP CONTROL OF CELLULOSE NANOCRYSTALS SUSPENSION BY pH AND TURBIDITY MEASUREMENTS	
Mayara Felix Santana Bárbara Castro Moreira Flávia Mitsue Yamashita Nilda de Fátima Ferreira Soares José Mauro de Almeida Alvaro Vianna Novaes de Carvalho Teixeira Deusanilde de Jesus Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030419	
CAPÍTULO 20	173
ESTUDO TERMODINÂMICO DA ADSORÇÃO DO CORANTE CRISTAL VIOLETA EM NANOTUBOS DE CARBONO FUNCIONALIZADOS	
Leonardo Martins Vargas Gabriel Facciochi Dörtzbacher Guilherme Luiz Dotto	
DOI 10.22533/at.ed.37119030420	
CAPÍTULO 21	181
ESTUDO DA REOLOGIA E DA SALINIDADE DE MICROEMULSÕES À BASE DE GLICERINA PARA SEREM UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO DE PETRÓLEO	
Amanda Brito de Carvalho Fabiola Dias da Silva Curbelo Elayne Andrade Araújo Alfredo Ismael Curbelo Garnica	
DOI 10.22533/at.ed.37119030421	
CAPÍTULO 22	196
ORGANOFILIZAÇÃO DE ARGILAS BENTONÍICAS PARA APLICAÇÃO EM FLUIDOS DE PERFURAÇÃO BASE MICROEMULSIONADA	
Renata Rodrigues Magalhães Roxana Pereira Fernandes de Sousa Alfredo Ismael Curbelo Garnica Fabiola Dias da Silva Curbelo Thaine Taumaturgo Caminha	
DOI 10.22533/at.ed.37119030422	

CAPÍTULO 23	201
PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS E VOLUMÉTRICAS DO QUEROSENE DE AVIAÇÃO E DO BIOQUEROSENE	
Idila Rafaela Carvalho Gonçalves Ana Clara Cazarin Queiroz Luciana Loureiro de Pinho Rolemberg de Andrade Sílvia Maria Zanini Sebrão Krishnaswamy Rajagopal	
DOI 10.22533/at.ed.37119030423	
CAPÍTULO 24	210
AVALIAÇÃO REOLÓGICA DE TINTAS ACRÍLICAS COMERCIAIS E ADITIVADAS COM CARGA CONDUTORA	
Alex da Silva Sirqueira Mônica Cristina dos Santos Vieira Mônica Feijó Naccache Stanley Pires de Alcântara	
DOI 10.22533/at.ed.37119030424	
CAPÍTULO 25	222
EFEITO DA ADIÇÃO DA CINZA GASEIFICADA DE CARVÃO PULVERIZADO NA FORMULAÇÃO DE CERÂMICA VERMELHA	
Gabryella Cerri Mendonça Cristiano Corrêa Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.37119030425	
CAPÍTULO 26	232
TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM SISTEMAS PARTICULADOS: DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE FERTILIZANTES GRANULADOS NA ESTAGNAÇÃO DE AR	
Hugo Perazzini Maira Tonon Bitti Perazzini Rayssa Caroline Ribeiro Bernardes João Marcos Cardoso Silva	
DOI 10.22533/at.ed.37119030426	
CAPÍTULO 27	248
DETERMINAÇÃO DA SOLUBILIDADE DA UREIA EM SOLUÇÕES AQUOSAS DE ETANOL	
Raquel de Oliveira Silva Ana Paula Silva Capuci Raíssa Araújo de Oliveira Campos Ricardo Amâncio Malagoni	
DOI 10.22533/at.ed.37119030427	
CAPÍTULO 28	255
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES DE VAZÃO COM ALTAS VAZÕES E VISCOSIDADES ELEVADAS: UMA ALTERNATIVA TÉCNICA À LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE ROYALTIES E PARTICIPAÇÕES ESPECIAIS	
Carlos Eduardo Ribeiro de Barros Barateiro Romulo Carlos da Silva Emerik	
DOI 10.22533/at.ed.37119030428	
SOBRE A ORGANIZADORA	271

EFEITO DA DENSIDADE DE CORRENTE NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DE REVESTIMENTOS DE Co-W OBTIDOS POR ELETRODEPOSIÇÃO

Arthur Figueira de Almeida

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Química. Campina
Grande – PB.

Bianca Oliveira Evaristo

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Mecânica. Campina
Grande – PB.

Josiane Dantas Costa

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Química. Campina
Grande – PB.

Mikarla Baía de Sousa

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Química. Campina
Grande – PB.

Nathália Cristina Moraes Lia Fook

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Engenharia Química. Campina
Grande – PB.

Renato Alexandre Costa de Santana

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Biologia e Química. Cuité – PB.

Ana Regina Nascimento Campos

Universidade Federal de Campina Grande,
Departamento de Biologia e Química. Cuité – PB.

RESUMO: O desenvolvimento de revestimentos com o objetivo de substituir os revestimentos de cromo duro vem aumentando nos últimos anos. Uma alternativa são as ligas contendo o

tungstênio com os elementos do grupo do ferro. As ligas de cobalto e tungstênio vêm sendo estudadas devido suas propriedades incomuns como: alta dureza, resistência à corrosão e estabilidade a altas temperaturas. Neste trabalho, estudou-se a obtenção de ligas de Co-W avaliando o efeito da densidade de corrente na resistência à corrosão de cada revestimento. Os revestimentos foram caracterizados quanto sua composição química (EDXRF), morfologia (MEV) e resistência à corrosão. Foi obtido com sucesso revestimentos de Co-W, os mesmos apresentaram brilho e aderência ao substrato. As imagens de MEV mostraram a presença de nódulos esféricos e trincas. Com aumento da densidade de corrente, ocorreu um aumento na resistência à corrosão assim como o percentual em peso do tungstênio nos revestimentos obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, eletrodeposição, densidade de corrente, cobalto, tungstênio.

ABSTRACT: The development of coatings to replace hard chromium coatings has been increasing in recent years. An alternative is the alloys containing tungsten with elements of the iron group. Cobalt and tungsten alloys have been studied due to their unusual properties such as high hardness, corrosion resistance and high temperature stability. In this work, the

production of Co-W alloys has been studied evaluating the effect of the current density on the corrosion resistance for each coating. The coating were characterized in respect to their chemical composition (EDXRF), morphology (SEM) and corrosion resistance. Co-W coatings were successfully produced and showed brightness and adherence to the substrate. SEM images showed the presence of spherical nodules and cracks. With increasing current density, corrosion resistance increased as well as tungsten content in the obtained coatings.

KEYWORDS: Corrosion, electrodeposition, current density, cobalt, tungsten.

1 | INTRODUÇÃO

O estudo de revestimentos obtidos pelo processo de eletrodeposição vem crescendo nos últimos anos. Este interesse é motivado pela possibilidade de se obter filmes finos com composição química definida, modificação da morfologia, aumento da resistência à corrosão, aumento da dureza do revestimento e modificação de outras propriedades. Uma das aplicações industriais mais importantes da eletrodeposição são os revestimentos com a finalidade de inibir a corrosão que ocorre na superfície do metal sob a influência do meio ambiente ou de esforços mecânicos.

Para obter propriedades específicas podem ser realizados estudos nas variáveis que influenciam no processo de obtenção desses revestimentos, tais como: densidade de corrente, temperatura do eletrólito, concentração dos reagentes do banho eletrolítico, pH, etc., (PAUNOVIC, M.; SCHLESINGER, 2006).

A eletrodeposição de ligas de metal geralmente é afetado pelo tipo de banho eletrolítico e dos seus parâmetros operacionais. Atualmente, as ligas são geralmente eletrodepositadas utilizando banhos eletrolíticos contendo agentes complexantes. O tipo e concentração dos aditivos orgânicos (complexantes) tem um impacto considerável sobre o processo de eletrocristalização de metais simples, na composição química, microestrutura e propriedades funcionais de revestimentos obtidos.

A utilização de agentes complexantes para a eletrodeposição das ligas de tungstênio e molibdênio são muito importantes pois, os mesmo participam diretamente do mecanismo de redução dessas ligas com os metais do grupo do ferro (CASELLA; DI FONZO, 2011; GÓMEZ; PELLICER; VALLÉS, 2005). Nos últimos anos, um grande volume de investigação tem sido realizada em todo o mundo e diferentes alternativas de agentes complexantes foram propostas, tais como: fluoborato, pirofosfato, EDTA, citrato, amoníaco, etilenodiamina, glicerol, glicina e tartarato, manitol, etc (BALLESTEROS *et al.*, 2011).

Para a eletrodeposição de algumas ligas metálicas foi atribuído o termo “codeposição induzida”, este foi apresentado por Brenner para descrever uma situação em que um metal não pode ser eletrodepositado a partir de solução aquosa na sua forma pura e sim codepositado na presença de outro metal, formando dessa forma uma liga. Um exemplo de codeposição induzida são as ligas de Mo e W com os elementos

Ni, Co, e Fe (SANTANA; et al., 2003).

Muitos autores investigaram o processo de eletrodeposição do molibdênio e do tungstênio com os metais do grupo do ferro em soluções aquosas (YOUNES-METZLER; ZHU; GILEADI, 2003). Os metais molibdênio e tungstênio e suas ligas são utilizados em situações que necessitam de altas temperaturas. O tungstênio apresenta as seguintes propriedades: alta resistência à corrosão, dureza, mesmo em temperaturas elevadas, baixo coeficiente de dilatação, alta condutividade térmica, além de não ser atacado por nenhum ácido mineral à temperatura ambiente e formar ligas duras com o cobalto, retendo algumas de suas propriedades incomuns.

Neste trabalho, estudou-se a obtenção de ligas de Co-W pelo processo de eletrodeposição utilizando como complexante o citrato de sódio e foi avaliado o efeito da densidade de corrente na composição química, morfologia e resistência à corrosão dos revestimentos obtidos.

2 | METODOLOGIA

A metodologia experimental se iniciou com a preparação do banho eletroquímico, para este propósito foram empregados reagentes com alto grau de pureza analítica que foram preparados com água destilada. O banho eletroquímico utilizado na eletrodeposição da liga Co-W foi constituído dos seguintes reagentes: sulfato de cobalto (0,01 mol/l), tungstato de sódio (0,06 mol/l), sulfato de amônio (0,01 mol/l) e citrato de sódio (0,02 mol/l). O pH do banho foi mantido constante com valor igual a 7,0 e ajustado adicionando-se hidróxido de amônio ou ácido sulfúrico.

O eletrodo de trabalho utilizado foi um substrato de cobre, cortado na forma de um quadrado 2 cm x 2 cm com área superficial de 8 cm². A preparação do eletrodo de cobre foi dividida em duas etapas: tratamento químico e polimento com lixas de diferentes granulações.

O substrato foi inicialmente polido com três tipos de lixas: 400, 600 e 1200 mesh e em seguida foi realizado o tratamento químico, onde o eletrodo foi introduzido em solução diluída de 10% de hidróxido de sódio (NaOH) para remover substâncias orgânicas e de 1% de ácido sulfúrico (H₂SO₄) para ativar a superfície, lavando em seguida com água destilada e secando em estufa à 70°C.

A eletrodeposição foi conduzida através de um controle galvanostático e rotatório sobre um substrato retangular de cobre, este atuando como catodo que consistiu em colocar o cátodo (substrato) centralizado entre dois eletrodos de platina em forma de espiral sem que houvesse contato entre ambos para depois disso, mergulhá-lo no banho eletrolítico. O ajuste da densidade de corrente foi realizado por uma fonte de corrente contínua da marca Agilent modelo E3633A.

A eletrodeposição foi realizada à temperatura constante de 60 °C, esta temperatura foi escolhida através de testes preliminares. Neste trabalho, foram avaliadas as

seguintes densidades de corrente: 20 mA/cm², 50 mA/cm² e 80 mA/cm².

A determinação da eficiência de corrente (EC) foi determinada pela massa dos revestimentos obtida como resultado da diferença da massa antes e depois da deposição que foram medidas em uma balança analítica com precisão de 0,0001 mg, pela carga passada e composição química dos depósitos que foi determinada por EDX. A eficiência de corrente foi calculada pela seguinte Equação 1 (HEGDE; VENKATAKRISHNA; ELIAZ, 2010; QIAO *et al.*, 2013):

$$EC = \frac{\text{massa do depósito}}{\text{massa teórica (lei de Faraday)}} \times 100$$

$$Eff(\%) = \frac{w}{\frac{Ew \times I \times t}{F}} = \frac{w \cdot F}{I \cdot t} \sum_{i=1}^a \frac{C_i n_i}{M_i} \times 100$$

onde *w* é a massa medida do depósito (g), *a* é o número total de elementos no depósito, *t* é o tempo de deposição (s), *I* é a corrente aplicada (A), *EW* é o equivalente peso da liga (g equiv⁻¹), *c_i* é fração peso do elemento na liga depositada, *n_i* é o número de elétrons transferidos por átomo de cada metal, *M_i* é a massa atômica dos elementos (g mol⁻¹) e *F* é a constante Faraday (96485 C mol⁻¹).

O estudo superficial dos revestimentos foi realizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando um microscópio eletrônico de varredura Tescan VEGA3 SBH. A análise da composição química da liga foi determinada por Energia Dispersiva de Raios – X (EDXRF) utilizando um espectrômetro digital Shimadzu, modelo 720.

Para avaliar o efeito da corrosão nos revestimentos obtidos foram realizadas medidas de Polarização Potenciodinâmica Linear (PPL) e Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE), utilizando um potenciostato/galvanostato PG STATE 302N da AUTOLAB. Para obtenção dos dados de PPL e EIE foi utilizado o software NOVA 1.11. As medidas eletroquímicas de corrosão foram executadas em uma célula contendo três eletrodos. O eletrodo de trabalho foi o substrato de cobre revestido com a liga eletrodepositada de Co-W. O eletrodo de referência utilizado foi calomelano saturado.

Todos os potenciais foram referidos a este eletrodo. O contra eletrodo foi um espiral de platina. As curvas de PPL foram obtidas com uma taxa de varredura de 1 mV s⁻¹ e as medidas de EIE foram realizadas em potencial de circuito aberto (OCP) em uma faixa de frequência de 10 mHz a 100 kHz com uma amplitude de 5 mV (10 pontos por década). Todos os testes de corrosão eletroquímica foram conduzidos no meio corrosivo contendo 0,1M de NaCl em solução e temperatura ambiente (± 25 °C).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidos com sucesso revestimentos de Co-W pelo processo de eletrodeposição. Os revestimentos aderiram ao substrato e com aspecto brilhante. Foi avaliado o efeito da densidade de corrente na composição química dos revestimentos sua eficiência de corrente, sua morfologia e a resistência à corrosão.

O efeito da densidade de corrente foi avaliado nas seguintes densidades 20 mA/cm², 50 mA/cm² e 80 mA/cm². Com o aumento da densidade de corrente ocorreu o aumento do percentual em massa de tungstênio no revestimento a Tabela 1 mostra os valores da composição química com suas respectivas densidades de corrente. A Figura 1 mostra a relação da eficiência de deposição com o percentual de tungstênio no revestimento. Com o aumento do teor de cobalto no revestimento ocorreu o aumento da eficiência de deposição

Densidade de corrente (mA/cm ²)	Co (wt.%)	W (wt.%)
20	65	35
50	54	46
80	47	53

Tabela 1: Resultados de composição química obtidos para as diferentes densidades de corrente utilizadas

A influência da densidade de corrente foi observada nas imagens de MEV. Com o aumento da densidade e conseqüentemente aumento no percentual de tungstênio nos revestimentos foi observado a presença de nódulos e o aumento das microrachaduras nos revestimentos. A Figura 2 mostra as imagens dos revestimentos de Co-W obtidos com densidades de corrente de 20, 50 e 80 mA/cm². Foi observado que com o aumento do teor de tungstênio aumenta a quantidade de microrachaduras. Este comportamento pode ser associado ao aumento da tensão interna do material.

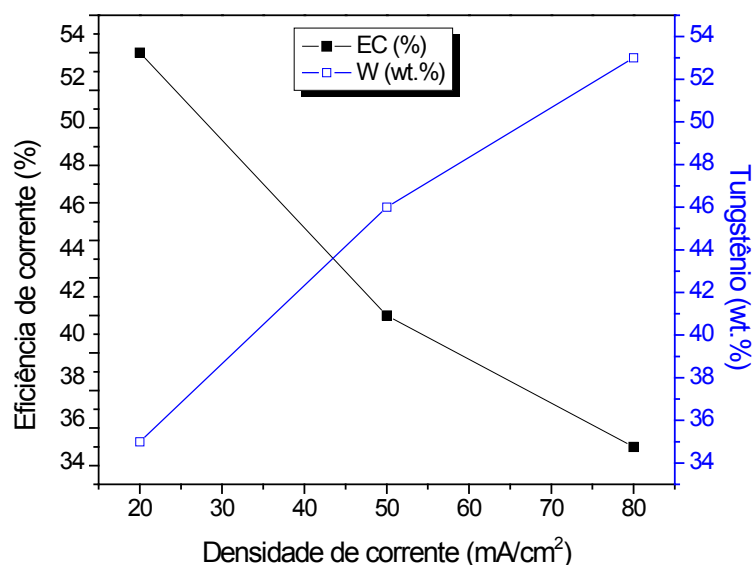


Figura 1: Eficiência de corrente e teor de tungstênio em função da densidade de corrente

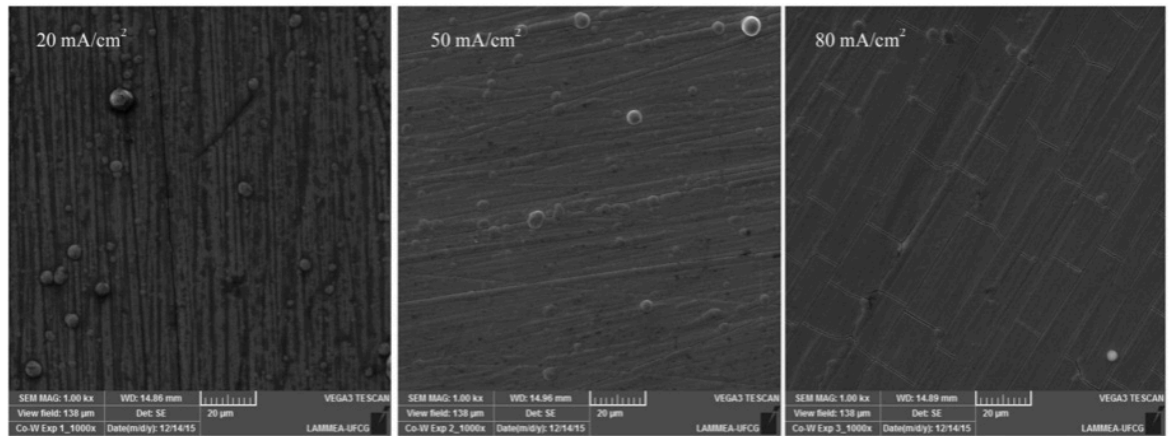


Figura 2: Microscopia Eletrônica de Varredura dos revestimentos de Co-W obtidos com 20, 50 e 80 mA/cm²

A Figura 3 mostra as curvas de PPL. Com o aumento da densidade de corrente foram obtidos os melhores resultados de potencial de corrosão e de resistência de polarização. Esse comportamento é associado ao aumento do percentual de tungstênio nos revestimentos. Para confirmar os resultados obtidos pela PPL foi realizado os ensaios de impedância. A Figura 4 mostra os diagramas de impedância para os três revestimentos. Foi observado que com o aumento da densidade de corrente foram obtidos os maiores valores de impedância isto é de resistência de polarização, confirmando os resultados obtidos pelas curvas de PPL.

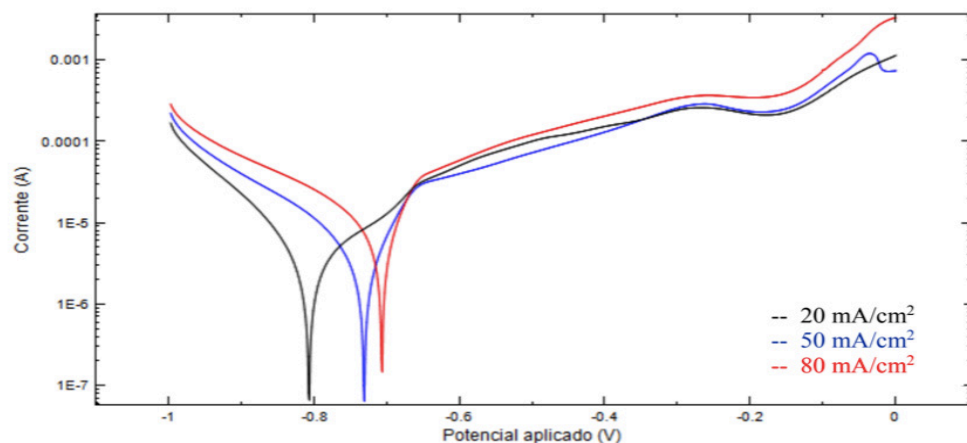


Figura 3: Curvas de Polarização dos revestimentos obtidos com densidades de corrente de 20, 50 e 80 mA/cm²

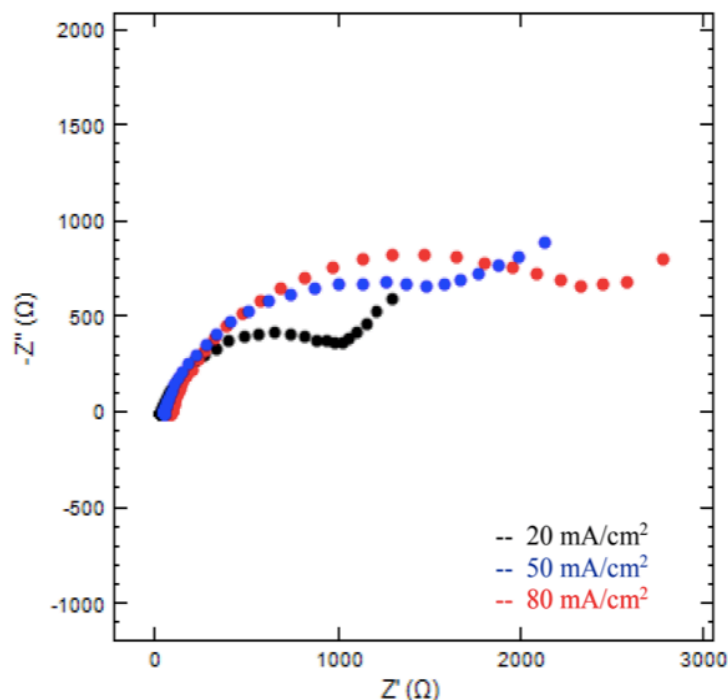


Figura 4: Espectros de Impedância Eletroquímica dos revestimentos obtidos para as densidades de corrente de 20, 50 e 80 mA/cm²

4 | CONCLUSÕES

Foi obtido com sucesso revestimentos de Co-W sobre o substrato de cobre. Os revestimentos foram aderentes ao substrato e de cor metálica brilhante. O aumento da densidade de corrente influenciou na composição química dos revestimentos. Com o aumento da densidade de corrente ocorreu o aumento do percentual de tungstênio que provocou o aumento da tensão interna provocando as microrachaduras e aumento da resistência à corrosão.

REFERÊNCIAS

BALLESTEROS, J C *et al.* **Electrocristallization of Copper from Non-Cyanide Alkaline Solution Containing Glycine.** International Journal of Electrochemical Science v. 6, p. 1597–1616 , 2011.

CASELLA, Innocenzo G; DI FONZO, Daniela A. **Anodic electrodeposition of cobalt oxides from an alkaline bath containing Co-gluconate complexes on glassy carbon. An electroanalytical investigation.** Electrochimica Acta v. 56, n. 22, p. 7536–7540 , set. 2011.

GÓMEZ, Elvira; PELLICER, Eva; VALLÉS, Elisa. **Structural, magnetic and corrosion properties of electrodeposited cobalt–nickel–molybdenum alloys.** Electrochemistry Communications v. 7, n. 3, p. 275–281 , mar. 2005.

HEGDE, A. Chitharanjan; VENKATAKRISHNA, K.; ELIAZ, N. **Electrodeposition of Zn-Ni, Zn-Fe and Zn-Ni-Fe alloys.** Surface and Coatings Technology v. 205, n. 7, p. 2031–2041 , 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.08.102>>.

PAUNOVIC, M.; SCHLESINGER, M.; **Fundamentals of Electrochemical Deposition.** 2. ed. [S.l.:

s.n.], 2006. 388 p. .978-0-471-71221-3.

QIAO, Xiaoping *et al.* **Effects of deposition temperature on electrodeposition of zinc-nickel alloy coatings.** *Electrochimica Acta* v. 89, p. 771–777 , 2013.0013-4686.

SANTANA, R. A. C. de; PRASAD, S.; SANTANA, ; ; F. S. M. De. **Revestimento Eletrolítico cm uma liga amorfa de Ni-W-B, resistente à corrosão e ao desgaste.** *Eclética Química* v. 28, p. 69–76 , 2003.

YOUNES-METZLER, O; ZHU, L; GILEADI, E. **The anomalous codeposition of tungsten in the presence of nickel.** *Electrochimica Acta* v. 48, n. 18, p. 2551–2562 , ago. 2003.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-237-1

