COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena Editora
Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
JOÃO DALLAMUTA
(ORGANIZADORES)

Atena Editora
Ano 2021

Editora Chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Assistentes Editoriais
Natalia Oliveira
Bruno Oliveira
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto Gráfico e Diagramação
Natália Sandrini de Azevedo
Camila Alves de Cremo
Luiza Alves Batista
Maria Alice Pinheiro
Imagens da Capa
iStock
Edição de Arte
Luiza Alves Batista
Revisão
Os autores

2021 *by Atena Editora*
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2021 Os autores
Copyright da Edição © 2021 Atena Editora
Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.
Open access publication by Atena Editora

Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial
Ciências Humanas e Sociais Aplicadas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr.Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde
Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias
Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
ProFª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes
Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª DrªFernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico científico
Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Atena Editora
Ano 2021

Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Sulivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Atena Editora
Ano 2021

Coleção desafios das engenharias: engenharia de materiais e metalúrgica

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de materiais e metalúrgica / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-290-3
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.903211207

1. Engenharia de materiais. 2. Engenharia metalúrgica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.

CDD 669

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2021

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

Atena Editora
Ano 2021

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Atena Editora
Ano 2021

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, principalmente quando se diz a indústria 4.0, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. Para obtenção desses novos materiais, muitos processos precisaram de alterações e de novos métodos, exigindo um desprendimento de força elevado nesta área. Grandes empresas e centros de pesquisa investem maciçamente em setores de P&D a fim de tornarem seus produtos e suas tecnologias mais competitivas.

Destaca-se que a área de material compreende três grandes grupos, a dos metais, das cerâmicas e dos polímeros, sendo que cada um deles tem sua importância na geração de tecnologia e no desenvolvimento dos produtos. Aliar os conhecimentos pré-existentes com novas tecnologias é um dos grandes desafios da nova engenharia.

Neste livro são explorados trabalhos teóricos e práticos, relacionados as áreas de materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. Apresenta capítulos relacionados ao desenvolvimento de novos materiais, com aplicações nos mais diversos ramos da ciência, bem como assuntos relacionados a melhoria em processos e produtos já existentes, buscando uma melhoria e a redução dos custos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Boa leitura a todos.

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

EVALUATION OF THERMAL PROPERTIES OF PBAT MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH DIFFERENT JUTE AND COTTON FABRICS

Jane Maria Faulstich de Paiva
Cristiane Carla Maciel
Amanda Alves Domingos Maia
Anderson Pires Fernandes
Maria Natália Castanho

https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112071

CAPÍTULO 2 10

EFEITO DE DIFERENTES MISTURAS PP-RECICLADO / PP-VIRGEM EM SUAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Vladymyr Alves de Figueiredo
José Costa de Macêdo Neto
Joaquim Souza de Oliveira
Ricardo Cruz da Silva
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa

https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112072

CAPÍTULO 3 18

DETERMINAÇÃO DA DUREZA E MÓDULO DE ELASTICIDADE POR NANOINDENTAÇÃO BERKOVICH DE VIDRO NIOBOFOSFATO SINTETIZADO COM ESCÓRIA DE ACIARA LD

Camila Ferreira da Silva
Patrícia Guimarães Monteiro de Freitas
Ronaldo Gomes de Castro Medeiros

https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112073

CAPÍTULO 4 26

RESÍDUO DE INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO: FONTE PARA DESENVOLVIMENTO DE VIDROS E VITROCERÂMICOS

Thariany Sanches Leme
Flavia Landgraf Cuzzati
Silvio Rainho Teixeira
Agda Eunice de Souza

https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112074

CAPÍTULO 5 41

CARACTERIZAÇÃO DA CARBURIZAÇÃO EM AÇOS HP POR MICROSCOPIA MAGNETO-ÓTICA KERR

Cayo Vinicius da Silva Lima
Thiago Tôrres Matta Neves
Clara Johanna Pacheco
Luiz Henrique de Almeida

Gabriela Ribeiro Pereira
https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112075

CAPÍTULO 6.....53

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NA ELETROGALVANIZAÇÃO DO AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO CONTENDO SULFATO EMPREGANDO BAIXA DENSIDADE DE CORRENTE

Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves
Tácia Costa Veloso
Vera Rosa Capelossi
https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112076

CAPÍTULO 7.....66

COMPORTAMENTO EM FADIGA DA LIGA TI-30TA APÓS TRATAMENTO ALCALINO E TÉRMICO - APLICAÇÕES BIOMÉDICAS

Kerolene Barboza da Silva
Valdir Alves Guimarães
Ana Paula Rosifini Alves Claro
https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112077

CAPÍTULO 8.....81

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOMATERIAIS DE BAIXO CUSTO

Alessandra Ames
Ricardo Yoshimitsu Miyahara
https://doi.org/10.22533/at.ed.9032112078

SOBRE OS ORGANIZADORES 90

ÍNDICE REMISSIVO.....91

CAPÍTULO 6

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE ZINCO NA ELETROGALVANIZAÇÃO DO AÇO CARBONO EM MEIO ÁCIDO CONTENDO SULFATO EMPREGANDO BAIXA DENSIDADE DE CORRENTE

Data de aceite: 01/07/2021
Data de submissão: 06/04/2021

Gabriel Abelha Carrijo Gonçalves
Universidade Estadual de Santa Cruz
Ilhéus – BA
http://lattes.cnpq.br/7024935986388318

Tácia Costa Veloso
Universidade Federal do Sul da Bahia
Itabuna – BA
http://lattes.cnpq.br/2420026949442774

Vera Rosa Capelossi
Universidade Estadual de Santa Cruz
Ilhéus – BA
http://lattes.cnpq.br/0713486577039303

RESUMO: Uma das técnicas mais empregadas na proteção do aço carbono baseia-se no uso do zinco como revestimento superficial, sendo a eletrogalvanização um dos processos mais amplamente empregados. Visando mitigar os impactos causados pelos banhos alcalinos contendo cianetos, tem-se realizado estudos com banhos ácidos contendo cloreto e/ou sulfato visando a otimização do processo. De modo geral, os banhos ácidos apresentam maior eficiência, no entanto há ainda a necessidade de se avaliar a influência dos parâmetros operacionais e de banho tanto sobre a morfologia, quanto sobre a resistência mecânica e à corrosão do material. Assim, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da variação das concentrações de zinco (40 $g.L^{-1}$ a 60 $g.L^{-1}$) no processo de eletrogalvanização do aço carbono AISI 1008 em meio ácido contendo sulfato empregando baixa densidade de corrente. Foram estudadas a eficiência de corrente (e_c), a espessura teórica da camada (ϕ_T) e a densidade superficial de Zn (ρ_A). A morfologia do revestimento foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a resistência à corrosão por meio de técnicas eletroquímicas. Foi observada que a variação da concentração de zinco não impactou significativamente a eficiência do processo, que se manteve abaixo de 90 %. O revestimento apresentou falhas em todas as condições avaliadas, sendo que a maior homogeneidade e regularidade foram obtidos na concentração de 60 $g.L^{-1}$. A resistência à corrosão também aumentou com o aumento da concentração do Zn no eletrólito, de modo que a máxima concentração estudada apresentou melhor desempenho. Contudo, há ainda a necessidade de estudos complementares que visam o ajuste da densidade de corrente com a concentração de Zn de modo a obter depósitos mais homogêneos e sem falhas.

PALAVRAS-CHAVE: Revestimento Metálico, Eletrogalvanização, Concentração de Zn, Eficiência de Corrente, Corrosão.

EFFECT OF ZINC CONCENTRATION ON THE ELECTROGALVANIZING OF CARBON STEEL IN ACID MEDIA CONTAINING SULFATE USING LOW CURRENT DENSITY

ABSTRACT: The use of zinc as a surface coating is one of the most used techniques to protect carbon steel against corrosion. One of these

techniques consist of the deposition of zinc ions on carbon steel using an external power source. This method is well known as electrogalvanizing or zinc electroplating. In order to mitigate the impacts caused by cyanide alkaline baths, new studies have been focused to optimize the acid baths containing chloride or sulfate ions. In general, acid baths show greater current efficiency than alkaline baths, however understanding the influence of operational and bath parameters on the morphology are crucial to study the corrosion resistance of the material. Thus, this work aimed to evaluate the influence of zinc variation (40 $g.L^{-1}$ – 60 $g.L^{-1}$) in the electrogalvanizing process of AISI 1008 carbon steel in acid medium containing sulfate using low current density. Current efficiency (e_C), theoretical layer thickness (ϕ_T) and Zn surface density (ρ_A) were analyzed. The coating morphology was evaluated by scanning electron microscopy (SEM) and the corrosion ressitance was analyzed by the electrochemical techniques. The variation in the zinc concentration did not significantly impacted the current efficiency, which remained below than 90 %. Defects in all evaluated conditions were observed in the coating analysis by SEM. However, when the Zn concentration was increased, the homogeneity of the coating also tended to increase. This behavior was observed by the electrochemical techniques where the 60 $g.L^{-1}$ showed greater corrosion resistance. Based on the results presented, complementary studies should be done to adjust the current density with the zinc concentration in order to obtain a homogeneous coating without defects.
KEYWORDS: Metallic Coating, Electrogalvanizing, Zn Concentration, Current Efficiency, Corrosion.

1 I INTRODUÇÃO

Apesar de sua versatilidade de usos, boas propriedades mecânicas e o baixo custo, o aço carbono é um material bastante susceptível ao processo corrosivo (SANTOS et al., 2020). Visando retardar e mitigar a sua deterioração é comum o emprego do zinco como revestimento metálico em processo conhecido como galvanização. Dentre os diversos processos de galvanização, destaca-se o método empregando a deposição do zinco na superfície do aço carbono por meio de vias eletrolíticas (MAJUSTE et al., 2015).

Este processo consiste na imposição de uma corrente proveniente de uma fonte externa, sendo denominado de eletrogalvanização. Para tanto, ocorre a imersão de um cátodo metálico (material a ser protegido) e de um ânodo condutivo, em uma solução eletrolítica, onde o íon metálico presente na solução irá depositar-se na superfície do cátodo (ALMEIDA et al., 2019). Comumente são empregados três tipos de banhos no processo de eletrodeposição zinco: os banhos alcalinos contendo cianeto, os banhos alcalinos livres de cianeto e os banhos ácidos (ALSHATER et al., 2019).

Todavia, devido às crescentes exigências e o desenvolvimento de novos regulamentos, os processos que possuíam o cianeto em sua constituição caíram em desuso (SHANMUGASIGAMANI; PUSHPAVANAM, 2006). Atualmente os banhos ácidos possuem especial destaque, sendo os banhos com cloreto e sulfato os mais utilizados (PAN et al., 2013). Além de sua menor toxicidade para o operador e meio ambiente, os banhos ácidos são mais rápidos, conseguindo atingir elevadas eficiências de corrente, superiores a 90 %

(SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

Na eletrodeposição do zinco, diversos fatores podem afetar a eficiência de corrente, a qualidade do depósito e, consequentemente, a resistência mecânica e à corrosão do material. Diversos trabalhos (ALMEIDA et al., 2019; PAN et al., 2013; SCOTT et al., 1988) sulfuric acid concentration, current density, and the addition of additives in 1 M H2SO4 medium. The optimum electrolyte composition is suggested at high zinc(II reportaram que a concentração de zinco, o pH, a densidade de corrente e a temperatura podem influenciar na eficiência do processo e na morfologia da estrutura cristalina e crescimento dos grãos do material depositado (MAJUSTE et al., 2015; PAN et al., 2013).

Neste cenário, o presente trabalho teve por objetivo principal avaliar o aço carbono AISI 1008 eletrodepositado em meio ácido contendo sulfato, variando a concentração de zinco empregando baixa densidade de corrente. As amostras foram avaliadas quanto a eficiência de corrente (e_c), à espessura teórica da camada (ϕ_T) e à densidade superficial de Zn (ρ_A). A morfologia foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia por energia dispersiva (MEV-EED), enquanto as análises de resistência à corrosão consistiram no estudo do potencial de circuito aberto (E_{CA}), da espectroscopia de impedância eletroquímica (*EIE*), da resistência à polarização linear (R_P) e das curvas de polariação potenciodinâmicas (*CPP*).

2 | METODOLOGIA

O processo de eletrodeposição do zinco se deu em uma célula eletrolítica, conforme apresentado na Figura 01. O sistema consistiu em 3 placas, sendo um cátodo (aço carbono AISI 1008) entre dois anodos (chumbo), com espaçamento entre eles de 10 mm e dimensões de (50 mm x 70 mm x 1,2 mm). Realizou-se a eletrodeposição do zinco por via galvanostática, controlando-se a corrente proveniente de uma fonte externa, perfazendo 7 mA.cm^{-2}.

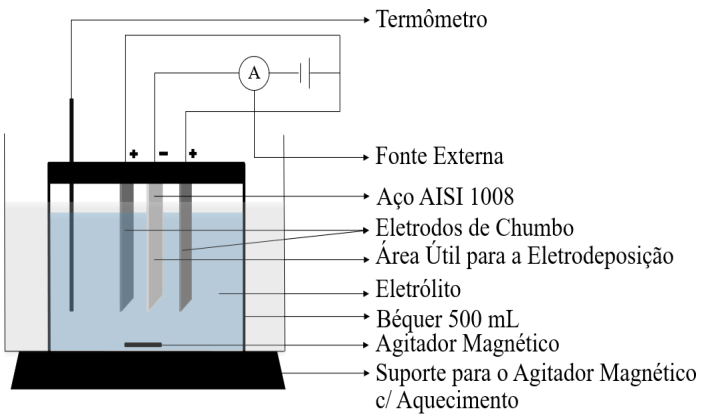


Figura 01 – Representação esquemática da célula de eletrodeposição utilizada o processo de eletrogalvanização do aço carbono AISI 1008.

O eletrólito empregado consistiu de uma solução aquosa contendo H_2SO_4 e Na_2SO_4 (50 $g.L^{-1}$), com a concentração de zinco variando em: 40 $g.L^{-1}$, 50 $g.L^{-1}$ e 60 $g.L^{-1}$. A temperatura foi controlada por banho-maria e mantida em 50 °C, estando o recipiente sobre uma chapa de aquecimento e em agitação magnética de 380 rpm. Salienta-se que o pH foi ajustado em 2,5 no início de cada ensaio.

O substrato, aço carbono AISI 1008, foi submetido a etapas denominadas de pré-galvanização eletrolítica que visaram a preparação de sua superfície para receber o depósito de zinco, conforme esquema apresentado na Figura 02. Destaca-se que para cada condição estudada foram utilizadas 4 amostras, perfazendo um total de 12 corpos de prova.

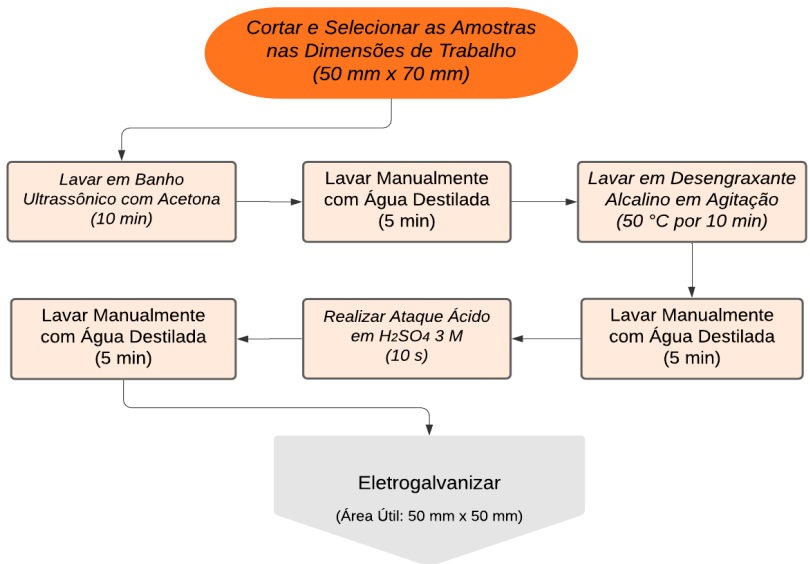


Figura 02 – Fluxograma contendo o passo-a-passo do processo de pré-galvanização eletrolítica.

A análise da eficiência do processo se deu por meio do estudo da eficiência de corrente, que leva em consideração as Leis de Faraday. Já a análise morfológica se deu por meio do microscópio eletrônico de varredura (VEGA3, Tescan). Os ensaios eletroquímicos foram realizados em um Potenciostato/Galvanostato (PGSTAT302N, Metrohm Autolab), controlado pelo software NOVA 1.11. Para este procedimento foi utilizado um eletrodo de referência de Ag|AgCl|KCl sat e um contra eletrodo de titânio revestido com ródio. Os ensaios foram feitos em triplicata, na temperatura de 25°C com sistema não agitado e não aerado, em solução de NaCl 0,1 $mol.L^{-1}$.

Realizou-se a análise do potencial de circuito aberto (E_{CA}) por 90 min, dando início ao ensaio de espectroscopia de impedância eletroquímica (*EIE*) no intervalo de frequência de 100 kHz a 10 mHz, com 10 pontos.década^{-1} e amplitude de 10 mV em relação ao E_{CA}.

Após 115 min de imersão realizou-se o ensaio de resistência à polarização linear (R_p), inferindo uma perturbação de -20 mV a 20 mV, com velocidade de varredura de 1,0 mV.s^{-1}. Por fim foram realizadas as curvas de polarização potenciodinâmicas (CPP) contendo os ramos anódicos e catódicos empregando o intervalo de varredura de -250 mV a 250 mV em relação ao E_{CA}, com uma velocidade de varredura de 0,5 mV. s^{-1}, iniciada após 120 min de imersão.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens das amostras do aço carbono AISI 1008 após a eletrodeposição para cada uma das condições analisadas podem ser observadas na Figura 03. Por meio dessas imagens é possível observar que mesmo sem o uso de equipamentos de ampliação já é possível notar modificações no revestimento, onde em todas as condições analisadas apresentaram depósitos com falhas, no entanto, a quantidade de falhas no revestimento tendeu a diminuir com o aumento da concentração do zinco no meio.

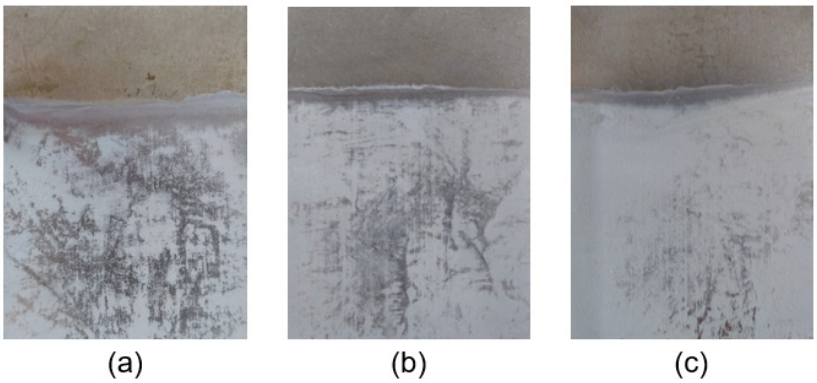


Figura 03 – Imagens sem ampliação do aço eletrogalvanizado (AEG) em diferentes concentrações de Zn^{2+}, sendo (a) 40 g.L^{-1} de Zn^{2+}; (b) 50 g.L^{-1} de Zn^{2+}; e (c) 60 g.L^{-1} de Zn^{2+}.

3.1 Análise da Eficiência de Corrente Catódica (e_c), da Espessura Teórica (ϕ_T) e da Densidade Superficial (ρ_A) do Revestimento de Zinco

Os resultados para a eficiência do processo, espessura teórica da camada eletodepositada e a densidade superficial de zinco estão apresentados na Tabela 01. A determinação da eficiência de corrente, e_c, se deu por meio da Equação 01, onde m_{ED} e m_T tratam-se respectivamente da massa depositada de zinco e a massa que teoricamente deve ter sido eletrodepositada. Esta última é determinada por meio das Leis da Eletrólise de Faraday, onde *M* trata-se da massa atômica do zinco (g.mol^{-1}); *I* trata-se da corrente empregada no processo (A); *t* trata-se do tempo da eletrodeposição (s); *n* trata-se do número de valência do zinco (*n* = 2); e *F* trata-se da constante de Faraday (96485,33

s.A.mol^{-1}).

$$e_c = \frac{m_{ED}}{m_T} \cdot 10^2 = \frac{m_{ED} \cdot n \cdot F}{M \cdot I \cdot t} \cdot 10^2 \qquad Equação\ 01$$

A espessura teórica da camada eletrodepositada, ϕ_T, conforme indicada na Equação 02, leva em consideração a massa teórica de zinco, m_T, descrita na equação anterior, relacionando-a com a área útil do substrato que foi eletrodepositada ($A_{Útil}$ em cm²) e com a densidade do zinco (ρ_{Zn} = 7,14 g.cm^{-3}).

$$\varphi_T = \frac{m_T}{\rho_{Zn} \cdot A_{Útil}} \cdot 10^4 \qquad Equação\ 02$$

Já a densidade superficial de zinco no revestimento, ρ_A, foi determinada conforme descrito na Equação 03, relacionando a massa de zinco eletrodepositada, m_{ED}, com a área útil do substrato que foi recoberta, $A_{Útil}$.

$$\rho_A = \frac{m_{ED}}{A_{Útil}} \cdot 10^2 \qquad Equação\ 03$$

(Zn²⁺) g.L⁻¹	$(e_c \pm \sigma_{e_c})$ %	$(\varphi_T \pm \sigma_{\varphi_T})\ \mu m$	$(\rho_A \pm \sigma_{\rho_A})\ g.m^{-2}$
40	82 ± 5	3,5 ± 0,5	20,6 ± 1,3
50	84 ± 5	3,7 ± 0,5	22,2 ± 1,1
60	85 ± 6	4,1 ± 0,6	24,7 ± 2,5

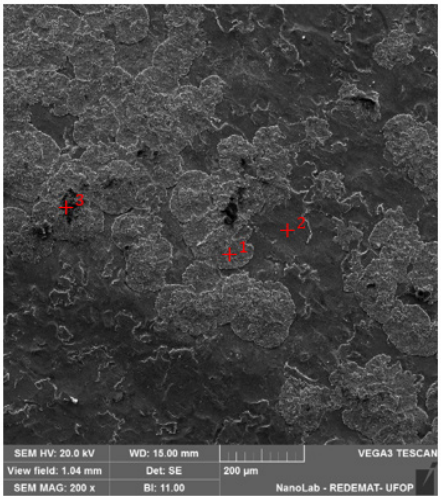
Tabela 01 – Relação de parâmetros determinados para o processo de galvanização eletrolítica em diferentes concentrações de Zn^{2+} no eletrólito, sendo "e_c" a eficiência de corrente, "ϕ_T" a espessura teórica da camada eletrodepositada, e "ρ_A" a densidade superficial da camada de zinco. Cada um dos parâmetros está seguido de seu respectivo desvio padrão.

A variação na concentração de zinco no eletrólito não promoveu impacto com relevância significativa sobre os parâmetros avaliados, sendo observado que a eficiência de corrente manteve-se inferior a 90 %, abaixo dos valores reportados na literatura para processos em meio ácido (PANOSSIAN, 1999; SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010).

A eficiência de corrente do processo é influenciada por diversos fatores, conforme já mencionado, sendo impactada pela temperatura, pelo pH do eletrólito, pela densidade de corrente do processo e também pela concentração de Zn no meio (ALMEIDA et al., 2019; SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2010; SCOTT et al., 1988). Desta forma, há a indicação de que a eficiência do processo possa ser aumentada ao se adotar um maior teor de zinco no eletrólito, atrelada à elevação da densidade de corrente, uma vez que a partir de 10 mA.cm^{-2} e em um banho ácido contendo aproximadamente 45 g.L^{-1} de Zn foi relatada na literatura eficiência de corrente superior a 90 % (MURALIDHARA; NAIK; VENKATESHA, 2006).

3.2 Análise da Morfologia do Revestimento

Com o auxílio da microscopia eletrônica de varredura com a espectroscopia por energia dispersiva (MEV-EED) foi possível observar as modificações no revestimento decorrentes da variação da concentração de Zn, sendo realizada ainda a análise qualitativa quanto à constituição química da morfologia superficial do revestimento utilizando o recurso *PoindID*. Tais micrografias com a indicação dos espectros podem ser observados na Figura 04, Figura 05 e Figura 06 para 40 $g.L^{-1}$, 50 $g.L^{-1}$ e 60 $g.L^{-1}$ respectivamente.



Espectro 1

Elemento	Massa [%]
O	19,77
Fe	3,16
Zn	77,07
Total	100

Espectro 2

Elemento	Massa [%]
O	22,15
Fe	74,30
Zn	3,55
Total	100

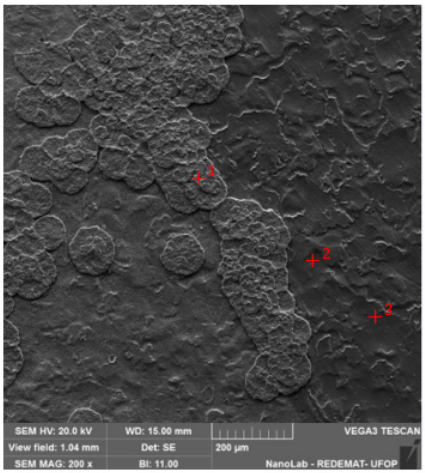
Espectro 3

Elemento	Massa [%]
C	17,15
O	53,24
Fe	0,52
Zn	29,09
Total	100

Figura 04 – Micrografia obtida via MEV com ampliação de 200x para o AEG obtido 40 $g.L^{-1}$ de Zn^{2+} contendo a composição qualitativa obtidos por meio do *PointID* por EDS.

Nota-se a presença de Fe com abundância em diversos pontos das micrografias indicando a presença de falhas em todos os revestimentos, culminando com a exposição do substrato. Destaca-se que no espectro 3 da Figura 04 foi detectada a presença do elemento C com a elevação da detecção do elemento O, que juntos podem ser atribuídos à presença de alguma sujidade aderida à superfície do substrato de origem orgânica.

Já nos espectros 2 e 3 da micrografia da presentes na Figura 05 foi detectada a presença do elemento Pb nas regiões onde não houve recobrimento do substrato. Tal detecção pode ser atribuída à presença de contaminantes aderidos na superfície do substrato decorrente ao uso dos ânodos de chumbo no processo de galvanização eletrolítica.



Espectro 1

Elemento	Massa [%]
O	19,70
Fe	1,09
Zn	79,21
Total	100

Espectro 2

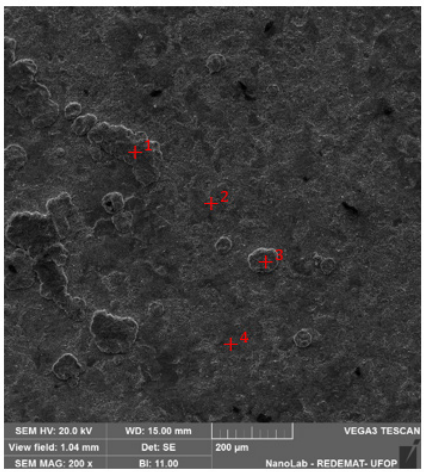
Elemento	Massa [%]
O	21,94
Fe	74,64
Zn	1,75
Pb	1,67
Total	100

Espectro 3

Elemento	Massa [%]
O	21,74
Fe	73,16
Zn	2,32
Pb	2,78
Total	100

Figura 05 – Micrografia obtida via MEV com ampliação de 200x para o AEG obtido 50 g.L^{-1} de Zn^{2+} contendo a composição qualitativa obtidos por meio do *PointID* por EDS.

Na concentração de 60 g.L^{-1} não foram detectados elementos estranhos dentro da gama dos que eram esperados, podendo destacar que a presença do Fe se deu em níveis consideravelmente menores (espectro 2 e 4 da Figura 06) que nas condições já apresentadas, sugerindo que tal concentração resultou em um revestimento com menor quantidade de falhas.



Espectro 1

Elemento	Massa [%]
O	19,68
Fe	0,55
Zn	79,77
Total	100

Espectro 2

Elemento	Massa [%]
O	24,15
Fe	17,04
Zn	58,81
Total	100

Espectro 3

Elemento	Massa [%]
O	20,19
Fe	0,96
Zn	78,85
Total	100

Espectro 4

Elemento	Massa [%]
O	20,07
Fe	12,28
Zn	67,65
Total	100

Figura 06 – Micrografia obtida via MEV com ampliação de 200x para o AEG obtido 60 g.L^{-1} de Zn^{2+} contendo a composição qualitativa obtidos por meio do *PointID* por EDS.

Tal constatação é ainda reforçada quando analisado o revestimento com maior ampliação (Figura 07), onde na concentração de 40 g.L^{-1} é perceptível a presença do

substrato, em vista que na concentração e 50 g.L^{-1} as zonas mais baixas já aparentam possuir alguma camada de zinco, enquanto que na concentração de 60 g.L^{-1} a diferença de nível é consideravelmente menor. Destaca-se que o aspecto do revestimento não mudou significativamente entre as condições avaliadas, sendo notada a prevalência de depósitos aglutinados em certas regiões.

Nos primeiros instantes, o zinco é depositado epitaxialmente em camadas e então ocorre o crescimento dos grãos (NAKANO, 2009), sendo que sua orientação e geometria são afetados tanto pelas condições operacionais, como temperatura, densidade de corrente e pH (KUL et al., 2020; SCOTT et al., 1988); quanto pelas constituição do próprio banho, como a presença de impurezas, aditivos e concentração dos seus elementos constituintes (ALMEIDA et al., 2019; MAJUSTE et al., 2015).

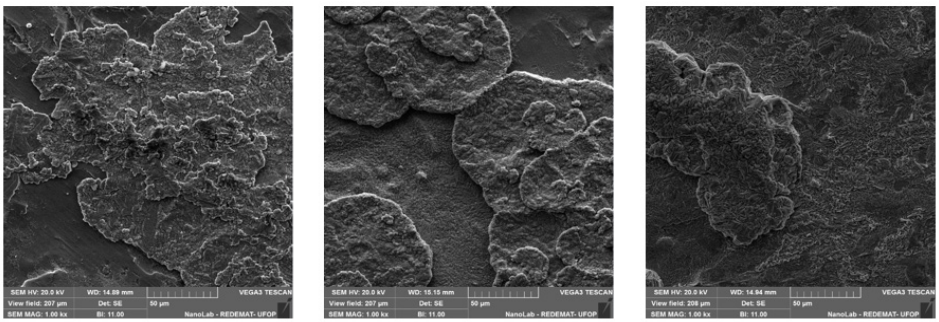


Figura 07 – Micrografias obtida via MEV com ampliação de 1000x para o AEG em diferentes concentrações de Zn^{2+}: (a) 40 g.L^{-1}; (b) 50 g.L^{-1}; e (c) 60 g.L^{-1}.

3.3 Análise dos Ensaios Eletroquímicos

3.3.1 Potencial de Circuito Aberto (E_{CA})

Os resultados para o E_{CA} estão apresentados na Tabela 02, onde o potencial para a amostra de 50 g.L^{-1} apresentou a maior variação (aproximadamente 20 mV) quando comparada com as peças obtidas nas concentrações de 40 g.L^{-1} e 60 g.L^{-1}, que apresentaram valores próximos, mantendo-se ao redor de – 0,890 VI(Ag/AgCl).

(Zn^{2+}) g.L^{-1}	$(E_{CA} \pm \sigma_{E_{CA}})$ %
40	$-0{,}895 \pm 0{,}005$
50	$-0{,}874 \pm 0{,}003$
60	$-0{,}902 \pm 0{,}003$

Tabela 02 – Relação dos valores para o E_{CA} após 90 min de imersão em NaCl 0,1 mol.L^{-1} para cada uma das condições estudadas, acompanhadas de seu respectivo desvio padrão.

3.3.2 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

Os resultados para a EIE estão apresentados na Figura 08. Analisando o diagrama de Nyquist para todas as concentrações é possível notar a prevalência de formação do perfil constituído por dois arcos capacitivos. Tal perfil foi observado também para o aço galvanizado exposto em atmosfera costeira, onde o autor destaca que nos estágios iniciais da corrosão do zinco é formada a camada de óxido porosa em sua superfície (YADAV, 2008).

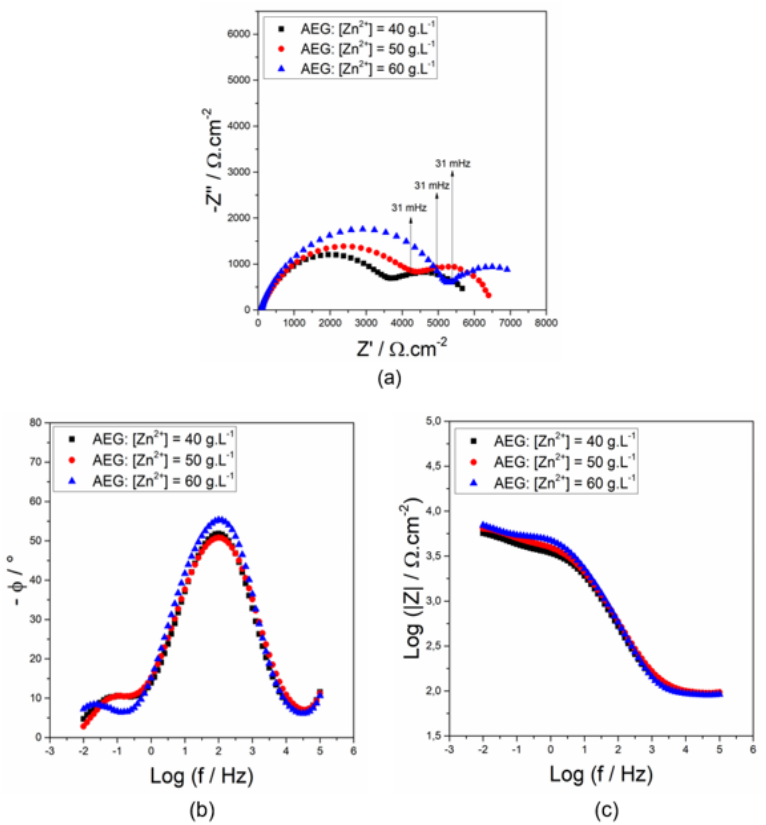


Figura 08 – Diagramas de EIE obtidos após 90 min de imersão em NaCl 0,1 mol.L^{-1} para o AEG em diferentes concentrações de Zn^{2+}, sendo (a) diagrama de Nyquist; (b) diagrama de Bode com o ângulo de fase; e (c) diagrama de Bode com o logaritmo do módulo de impedância.

A partir da análise dos resultados apresentados no diagrama de Nyquist (Figura 08a), observa-se que a variação da concentração do Zn não modificou o mecanismo de corrosão da peça com o revestimento, sendo perceptível o aumento do diâmetro do primeiro arco capacitivo com o aumento da concentração de Zn, indicando a prevalência da dissolução do zinco na formação de sua camada de óxido porosa antes de atingir o substrato (YADAV, 2008).

Tal comportamento pode ainda ser observado no diagrama de Bode contendo o logaritmo do módulo de impedância (Figura 08c), onde a concentração de 60 $g.L^{-1}$ apresentou a maior resistência à corrosão, estando condizente com a microscopia, uma vez que tal peça apresentou maior homogeneidade (PARK; SZPUNAR, 1998).

Destaca-se por meio do diagrama de Bode contendo o ângulo de fase (Figura 08b) a presença de duas constantes de tempo, característico da resposta obtida em revestimentos(LINS et al., 2006), sendo uma constante em alta frequência e a segunda em baixa frequência, de modo análogo às curvas observadas no diagrama de Nyquist.

3.3.3 Resistência à Polarização Linear (RP)

Os resultados para a R_P estão indicados na Tabela 03. Observa-se o mesmo comportamento reportado no tópico anterior referente aos ensaios de EIE, onde a máxima concentração de Zn (60 $g.L^{-1}$) conferiu maior proteção ao substrato com relevância estatística.

(Zn^{2+}) $g.L^{-1}$	$(R_P \pm \sigma_{R_P})$ %
40	4644 ± 225
50	5005 ± 264
60	6180 ± 342

Tabela 03 – Relação dos valores para a R_P após 115 min imersão em NaCl 0,1 $mol.L^{-1}$ para cada uma das condições estudadas, acompanhadas de seu respectivo desvio padrão.

3.3.4 Curvas de Polarização Potenciodinâmicas (CPP)

Analisando as *CPP* para cada uma das concentrações estudadas (Figura 09) é possível observar o mesmo comportamento obtido nos ensaios de *EIE* e de R_P, onde a máxima concentração estudada apresentou a menor densidade de corrente de corrosão associado ao com potencial de corrosão mais negativo, tal qual indicado nos ensaios de E_{CA}. Assim como indicado nos ensaios de *EIE*, a variação da concentração de zinco no eletrólito não modificou o mecanismo de corrosão do material, apresentando comportamentos semelhantes tanto nos ramos anódicos quanto nos ramos catódicos.

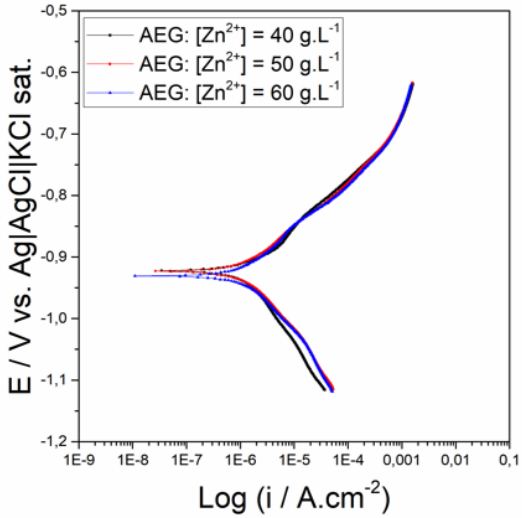


Figura 09 – Curvas de Polarização Potenciodinâmicas obtidas após 120 min de imersão em NaCl 0,1 mol.L^{-1} para o Aço Eletrogalvanizado (AEG) em diferentes concentrações de Zn^{2+}.

4 | CONCLUSÕES

A variação da concentração de zinco não impactou de modo significativo na eficiência de corrente do processo, onde o mesmo manteve-se abaixo de 90 %. Tal constatação refletiu sobre a morfologia do revestimento, onde foi observada a presença de falhas em todas as condições analisadas, sendo observado que o aumento da concentração de zinco tendeu a aumentar a homogeneidade do revestimento. Comportamento também observado nos ensaios eletroquímicos, onde a concentração de 60 g.L^{-1} apresentou a maior resistência à corrosão. Salienta-se, no entanto, que mais estudos devem ser realizados com o intuito de adequar a concentração de zinco à densidade de corrente do processo para se obter um revestimento mais homogêneo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES [Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (88887.495176/2020-00)] pelo apoio financeiro à pesquisa; à Usiminas S.A. pelo fornecimento do aço AISI 1008; à Nexa Resources S.A. pelo fornecimento do zinco; à Klintex Insumos Industriais Ltda. pelo fornecimento do desengraxante alcalino para aço carbono; ao Laboratório de Nanotecnologia da Rede Temática de Materiais na Universidade Federal de Ouro Preto (NanoLab/RedeMat/UFOP, MG, BR) pelas análises de MEV-EED; à Universidade Estadual de Santa Cruz e ao Laboratório de Materiais e Meio Ambiente (LAMMA/UESC, BA, BR) pelo suporte, insumos e equipamentos que possibilitaram a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. D. DE J. et al. **Glycerol Effect on the Corrosion Resistance and Electrodeposition Conditions in a Zinc Electroplating Process.** Materials Research, v. 22, n. 4, 2019.

ALSHATER, A. F. et al. **A correlative study amongst overlay nanostructure and emanating corrosion behavior of pulse-electroplated nanocrystalline zinc on carbon steel.** Applied Nanoscience (Switzerland), v. 9, n. 3, p. 289–304, 2019.

KUL, M. et al. **Effect of Process Parameters on the Electrodeposition of Zinc on 1010 Steel: Central Composite Design Optimization.** International Journal of Electrochemical Science, v. 15, p. 9779–9795, out. 2020.

LINS, V. DE F. C. et al. **Electrochemical impedance spectroscopy and linear polarization applied to evaluation of porosity of phosphate conversion coatings on electrogalvanized steels.** Applied Surface Science, v. 253, n. 5, p. 2875–2884, 2006.

MAJUSTE, D. et al. **Role of organic reagents and impurity in zinc electrowinning.** Hydrometallurgy, v. 152, p. 190–198, 2015.

MURALIDHARA, H. B.; NAIK, Y. A.; VENKATESHA, T. V. **Effect of condensation product of glycyl-glycine and furfural on electrodeposition of zinc from sulphate bath.** Bulletin of Materials Science, v. 29, n. 5, p. 497–503, 2006.

NAKANO, H. **Effects of plating factors on morphology and appearance of electrogalvanized steel sheets.** Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition), v. 19, n. 4, p. 835–841, 2009.

PAN, J. et al. **Zinc deposition and dissolution in sulfuric acid onto a graphiteresin composite electrode as the negative electrode reactions in acidic zinc-based redox flow batteries.** Journal of Applied Electrochemistry, v. 43, n. 5, p. 541–551, 2013.

PANOSSIAN, Z. **Principais Tipos de Banhos para Eletrodeposição de Zinco - Revisão Bibliográfica.** Revista Tratamento de Superfícies, p. 32–41, 1999.

PARK, H.; SZPUNAR, J. A. **The role of texture and morphology in optimizing the corrosion resistance of zinc-based electrogalvanized coatings.** Corrosion Science, v. 40, n. 4–5, p. 525–545, 1998.

SANTOS, A. M. et al. **Evaluation of Palm Kernel Cake Powder (Elaeis guineensis Jacq.) as Corrosion Inhibitor for Carbon Steel in Acidic Media.** Metals and Materials International, n. 0123456789, 2020.

SCHLESINGER, M.; PAUNOVIC, M. **Modern Electroplating**. 5th Ed ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

SCOTT, A. C. et al. **Experimental determination of the factors affecting zinc electrowinning efficiency.** Journal of Applied Electrochemistry, v. 18, n. 1, p. 120–127, 1988.

SHANMUGASIGAMANI; PUSHPAVANAM, M. **Role of additives in bright zinc deposition from cyanide free alkaline baths.** Journal of Applied Electrochemistry, v. 36, n. 3, p. 315–322, 1 fev. 2006.

YADAV, A. P. **Electrochemical Impedance Response of Zn and Galvanized Steel Corroding under Marine Atmospheric Environments.** J. Nepal Chem. Soc., v. 23, p. 33-42, 2008.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço HP 41, 43, 44, 46, 47, 48, 51

B

Biomateriais 66, 67, 78, 79, 81, 82, 88, 89

C

Carburização 41, 43, 44, 46, 47, 51

Corrosão 53, 55, 62, 63, 64, 67, 68, 90

D

Domínios magnéticos 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50

E

Eficiência de corrente 53, 55, 56, 57, 58, 64

Eletrogalvanização 53, 54, 55

Escória 18, 19, 20, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 37, 38, 39, 40

F

Fadiga 66, 67, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 79

H

Hidroxiapatita 81, 83, 84, 88, 89

L

Ligas de titânio 66, 68, 72, 73, 74

M

Microscopia Kerr 41

N

Nanoindentação 18, 19, 20, 22, 23

P

PBAT 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Polímero natural 81, 86

PP 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 52

Propriedades mecânicas 10, 11, 12, 16, 18, 19, 38, 54, 66, 68, 71

R

Reciclagem 10, 11, 17, 26, 28, 39

Resíduos 11, 13, 16, 26, 28, 29, 39

Resistência 10, 11, 12, 14, 15, 16, 19, 23, 53, 55, 57, 63, 64, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 77, 81, 82, 83, 84, 86, 88

Revestimento metálico 53, 54

T

Tratamento alcalino 66, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77

U

Ultramicrodureza 18, 21, 23

V

Vidro 18, 20, 21, 23, 24, 26, 30, 31, 32, 33, 34, 35

Vitrocerâmico 26, 29, 32, 34, 35, 36, 37

Z

Zinco 27, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora

Ano 2021

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora

Ano 2021