

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora
Ano 2021

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

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

Shutterstock

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.



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

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
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^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª 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

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci 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

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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
Prof^ª 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. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. 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
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. 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 Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
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
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
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^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª 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
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2

Editora Chefe: Prof^ª Dr^ª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
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)

E57 Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2 / 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 978-65-5706-962-2
DOI 10.22533/at.ed.622210504

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 620

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

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.

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, se tornou um dos grandes pilares da revolução técnica industrial, devido a necessidade de desenvolvimento de novos materiais, que apresentem melhores características e propriedades físico-químicas. 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. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura.

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E PERFIL DE MICRODUREZA DE AÇO API 5L X80 OBTIDO POR PROCESSO TMCR

Cláudio Beserra Martins Júnior
Ana Larissa Soares Cruz
Ermeson David dos Santos Silva
Nicolas Moreira de Carvalho Gomes
Vinícius Pereira Bacurau
Maria das Dores Bandeira Barroso
Rosilda Benício de Souza
Edvânia Trajano Teó ilo

DOI 10.22533/at.ed.6222105041

CAPÍTULO 2..... 14

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURA DO AÇO SAE 1035 PELO PROCESSO GMAW

Charlon Widson Leite Costa
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105042

CAPÍTULO 3..... 29

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO DE NORMALIZAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DO AÇO SAE 1035 UTILIZADO EM MOTOCICLETAS

Andrews Raphael da Silva Vieira
José Costa de Macêdo Neto
Adalberto Gomes de Miranda
Luiz Antônio de Verçosa
Gilberto García Del Pino
Reinaldo de Almeida Rodrigues
Denise Andrade do Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.6222105043

CAPÍTULO 4..... 40

INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO CRIOGÊNICO PROFUNDO NAS TEMPERATURAS DE TRANSFORMAÇÃO DE FASE E NA ESTABILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE RECUPERAÇÃO DE FORMA DA LIGA Cu-14Al-4Ni COM EFEITO MEMÓRIA DE FORMA

Marcelo Nava
Emmanuel Pacheco Rocha Lima

DOI 10.22533/at.ed.6222105044

CAPÍTULO 5..... 63

ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM PLACA NÃO ABSORVÍVEL PARA OSTEOSSÍNTESE

Luís Eduardo da Cunha Ferro

Jorge de Souza e Silva Neto
Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti
Rosemere de Araújo Alves Lima
Marília Garcia Diniz
DOI 10.22533/at.ed.6222105045

CAPÍTULO 6..... 76

PROTEÇÃO ANTICORROSIVA PARA ESTRUTURAS DE AÇO EM ATMOSFERAS INDUSTRIAIS E MARINHAS COM SISTEMA DE TINTA BASE AQUOSA ACRÍLICA

Idalina Vieira Aoki
Fernando Cotting
Paulo Cezar Maziero Tiano

DOI 10.22533/at.ed.6222105046

CAPÍTULO 7..... 92

COLORAÇÃO DO TITÂNIO COM LASER E RUGOSIDADE

Luis Miguel Moncayo Morales
Carlos Nelson Elias
Francielly Moura de Souza Soares
Dyanni Manhães Barbosa

DOI 10.22533/at.ed.6222105047

CAPÍTULO 8..... 100

AVALIAÇÃO DE PROCESSOS DE CORROSÃO INFLUENCIADA MICROBIOLOGICAMENTE EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Mariana Isabeli Valentim
José Carlos Alves Galvão
Karoline Caetano da Silva
Rozane de Fatima Turchiello Gomez

DOI 10.22533/at.ed.6222105048

CAPÍTULO 9..... 111

ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE CROMO NA LAMA DE ACIARIA POR MEIO DE BRIQUETES AUTORREDUTORES À BASE DE CARBONO

Raphael Mariano de Souza
Diego Santa Rosa Coradini
José Roberto de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.6222105049

CAPÍTULO 10..... 120

RESPOSTA AO IMPACTO BALÍSTICO DE COMPÓSITOS DE ALUMINA-UHMWPE IRRADIADOS COM RAIOS GAMA

André Ben-Hur da Silva Figueiredo
Hélio de Carvalho Vital
Ricardo Pondé Weber
Édio Pereira Lima Júnior
João Gabriel Passos Rodrigues
Letícia dos Santos Aguilera

Ronaldo Sergio de Biasi

DOI 10.22533/at.ed.62221050410

CAPÍTULO 11..... 133

INFLUÊNCIA DA TÉCNICA “TWO STEPS SINTERING” NA REDUÇÃO DA POROSIDADE DAS CERÂMICAS VERMELHAS

André Lucas Reboli Pagoto

Valdi Antonio Rodrigues Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050411

CAPÍTULO 12..... 138

COMPARAÇÃO ENTRE POLI (acrilonitrila-co-butadieno-co-estireno) (ABS) E POLIPROPILENO (PP). POR QUE POLÍMEROS COM ÍNDICE DE FLUIDEZ SIMILARES NÃO APRESENTAM O MESMO DESEMPENHO TÉRMICO E MECÂNICO?

Rogério Massanori Sakahara

Wang Shu Hui

Daniel José da Silva

Luiz Henriques

DOI 10.22533/at.ed.62221050412

CAPÍTULO 13..... 151

UMA SÍNTESE DOS AVANÇOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS DE POLIURETANO NA REMOÇÃO DE ÓLEO DA ÁGUA

Karen de França Gonçalves

Luiz Fernando do Nascimento Vieira

Ricardo Pondé Weber

Sergio Neves Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.62221050413

CAPÍTULO 14..... 164

FIBRA DE BAMBU: UMA NOVA ALTERNATIVA PARA COMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães

Marcelo Barbosa Furtini

Josy Antevêli Osajima

José Benedito Guimarães Junior

DOI 10.22533/at.ed.62221050414

CAPÍTULO 15..... 174

MEMBRANAS DE QUITOSANA-BIOATIVO NATURAL PARA USO POTENCIAL COMO CURATIVOS

Itamara Farias Leite

Wwandson Felipe Wanderley

Alanne Tamize de Medeiros Salviano

DOI 10.22533/at.ed.62221050415

CAPÍTULO 16..... 187

SÍNTESE DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE UMA MEMBRANA BIOLÓGICA

OBTIDA A PARTIR DA FIBROÍNA PRESENTE NO CASULO DO BICHO DA SEDA

Ingrid Russoni de Lima

Mara Carolina do Carmo Paresque

Lucas Furtado Loesh Pereira

Bonifácio de Oliveira Fialho

Heleno Souza da Silva

Renata Antoum Simão

José Adilson de Castro

Gláucio Soares Fonseca

DOI 10.22533/at.ed.62221050416

SOBRE OS ORGANIZADORES200

ÍNDICE REMISSIVO.....201

ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA EM PLACA NÃO ABSORVÍVEL PARA OSTEOSÍNTESE

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 12/02/2021

Luís Eduardo da Cunha Ferro

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso
Suckow da Fonseca
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/4926202188451965>

Jorge de Souza e Silva Neto

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso
Suckow da Fonseca
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/2425532680740956>

Daniel Kioshi Kawasaki Cavalcanti

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso
Suckow da Fonseca
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/9273027795027682>

Rosemere de Araújo Alves Lima

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso
Suckow da Fonseca
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/0433201124621636>

Marília Garcia Diniz

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
LACAM
Rio de Janeiro – RJ
<http://lattes.cnpq.br/6597447489234947>

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi analisar as possíveis causas que levaram à falha prematura de uma placa de aço inoxidável

utilizada como implante femoral. Para tal, foram utilizadas técnicas de microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semi-quantitativa por espectroscopia por dispersão de energia (EDS) e teste de microdureza Vickers (HV) na área onde a fratura ocorreu. Pôde-se concluir que o processo que levou à fratura da prótese foi um mecanismo de fadiga originado à partir de defeito proveniente do processo de fabricação da placa.

PALAVRAS-CHAVE: Prótese femoral, aço inoxidável, fadiga.

FRACTURE FAILURE ANALYSIS IN NON-ABSORBIBLE PLATE FOR OSTEOSYNTHESIS

ABSTRACT: The objective of this study was to analyze the possible causes that led to the premature failure of a stainless steel plate used as a femoral implant. For this, optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM), semi-quantitative chemical analysis by energy dispersive spectroscopy (EDS) and Vickers microhardness test (HV) were used in the area where the fracture occurred. It was concluded that the process that led to the fracture of the prosthesis was a mechanism of fatigue originated from a defect derived from the plate fabrication process.

KEYWORDS: Femoral prosthesis, stainless steel, fatigue.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico nas áreas da medicina e engenharia têm propiciado

o surgimento de novos materiais, biocompatíveis e resistentes à corrosão, a fadiga e ideais para a aplicação em implantes, tanto temporários quanto permanentes, como por exemplo as próteses ortopédicas. Estes materiais podem ser utilizados apenas durante o processo regenerativo de tecidos ósseos ou durante um tempo pré-determinado e funcional. Dentre os materiais que ganharam espaço para esse tipo de aplicação destaca-se o aço inoxidável por possuir boa ductilidade, excelente resistência à corrosão e à fadiga, baixo custo efetivo e fácil fabricação (LANDUCI, 2016).

Contudo, os implantes cirúrgicos são expostos a condições severas de trabalho como, por exemplo, ciclos de carregamento estáticos e dinâmicos, ambientes químicos agressivos, e portanto, diversas fraturas têm sido relatadas devido à falhas mecânicas ocasionadas de modo frágil, deformação plástica, corrosão por *pitting* ou fadiga. Em geral, estes mecanismos de falha podem estar relacionados à erros na concepção de projeto, *design*, ou baixa qualidade no processo de fabricação dos componentes utilizados como implantes, além de possíveis defeitos originados durante o processo cirúrgico de colocação destes materiais ou a condições inerentes à utilização (GARCIA, 2015).

A prótese objeto deste trabalho apresentou falha após 1 ano de uso e pertencia a um paciente do sexo feminino de 70 anos de idade, sedentário, com massa corporal equivalente a cerca de 57 kg. Segundo informações do cirurgião ortopedista que realizou a cirurgia e acompanhou a paciente em questão, o material deveria permanecer no mínimo 10 anos antes de qualquer procedimento de retirada. Não foram fornecidas radiografias ou quaisquer outras informações para a condução deste processo de análise de falha por fratura, apenas a placa fraturada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O componente fraturado era uma placa reta com a presença de 8 furos e comprimento de 246mm destinada a união de fragmentos ósseos ou reconstrução de ossos dos membros inferiores, comercializada e fabricada pela Zimmer Biomet. Conforme informações presentes no catálogo, ela é classificada como sendo placa para osteossíntese de aço inoxidável, entretanto, não é fornecida a especificação do aço (ZIMMER, 2016).

Durante a inspeção visual do implante foram realizados registros fotográficos, identificação do componente, da região fraturada e análises dimensionais. Vale salientar que não ocorreu uma fratura total na seção do implante (Figura 1), isto é, o mesmo teve que ser submetido a um processo de finalização da fratura para a condução do processo de caracterização do mecanismo de falha do material.



Figura 1 - Placa de osteossíntese fraturada. A falha localizava-se à 117mm à partir do lado esquerdo do início da placa, no quarto furo. Notam-se as inscrições feitas pelo fabricante e que remetem à especificação do tipo de placa.

Em seguida, a placa foi conduzida ao corte metalográfico para a obtenção de amostra da seção transversal da peça, na qual as superfícies de fratura foram preservadas (Figura 2). A amostra foi levada à limpeza por banho ultrassônico imersa em acetona pureza analítica.

Para obtenção de aspectos fractográficos da superfície fraturada e análise química semi-quantitativa do material, foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura modelo JEOL JSM-6510/LV, operando a 20Kv.

Com o intuito de revelar a microestrutura do material e verificar sua conformidade com os padrões normativos para biomateriais usados em próteses femorais, a amostra sofreu preparação metalográfica e ataque químico em solução Vilella (5ml HCl + 2gr Ácido Pícrico + 100ml Álcool Etílico), com tempo de exposição de 1 min e 20 segundos.

Para aferir a dureza do material (HV), foi utilizado um microdurômetro PANTEC MV-1000A no qual adotou-se uma carga de 200 gramas (1,96N) em um tempo de 10 segundos de aplicação. Foram realizadas 10 medidas em pontos aleatórios na seção transversal da amostra, segundo a norma ABNT NBR ISO 6507-1 (ABNT, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a inspeção visual pôde-se identificar que em alguns dos furos havia a

presença de marcas de deformação localizada, provavelmente ocasionadas durante a fixação ou retirada da placa do osso da paciente. Os furos foram identificados conforme Figura 2. Estas observações determinam como a peça foi manuseada e onde os esforços mecânicos foram feitos, podendo estar associados aos indícios de falhas.



Figura 2 - Placa fraturada com os furos identificados e amostra já cortada para análise da superfície de fratura e outras propriedades. Os furos 6 e 7 apresentaram marcas de deformação internas. Pedacos do cabo usado para a colocação da prótese ainda estavam na placa e estão identificados na imagem.

A amostra utilizada no MEV e nos demais testes foi retirada entre os furos 4 e 5 (Figura 2). A Figura 3 apresenta, em detalhe, os furos 6 e 7 com as marcações de deformações.

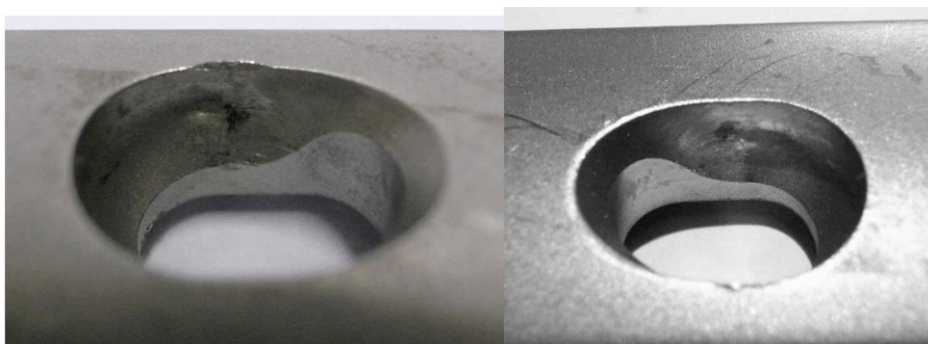


Figura 3 - Marcas de deformações encontradas nos furos 6 e 7, respectivamente.

A investigação visual mostrou que a peça apresentava outras marcas distribuídas ao longo de toda a sua extensão, contudo, essas marcas foram atribuídas ao processo cirúrgico de colocação e, posteriormente, de retirada da prótese após sua falha. A escolha das dimensões da placa e do local para a passagem de cabos de aço é uma decisão do cirurgião, em função de uma série de características do paciente e do local da fratura à ser recuperada. Não existem placas feitas sob medida, mas placas de variados tamanhos e que

são escolhidas conforme o paciente, entretanto, nem sempre a escolha é fácil uma vez que a variedade de alturas, massa corporal e local fraturado variam caso a caso. Além disso, a fixação deverá permitir a circulação sanguínea local e exercer as forças de compressão necessárias para a cicatrização do osso fraturado (GERVAIS B. et al., 2016).

Também foi possível constatar que a falha ocorreu no furo 4, distando de 117 mm contados a partir do lado esquerdo da peça em sua identificação (Figura 4), uma região que apresenta elevados concentradores de tensões, seja devido a morfologia do furo, seja pela descontinuidade do projeto da peça nesta seção uma vez que apresenta os furos elípticos com uma menor distância entre si quando comparados às demais seções da prótese (Figuras 4 e 5).

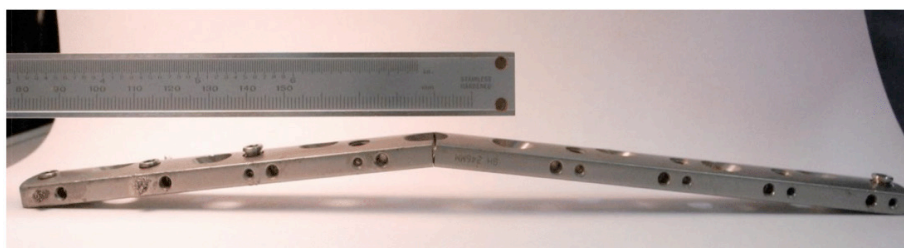


Figura 4 – Vista lateral da placa fraturada.

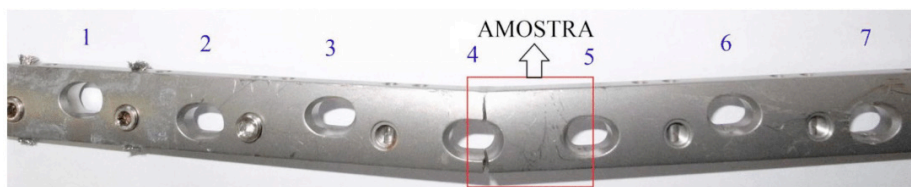


Figura 5 - Vista superior da placa fraturada indicando os furos onde ocorre redução da seção transversal útil e região de maior concentração de tensões.

A Figura 6 apresenta a superfície fraturada em escala macro, tanto a região de finalização induzida (A), quanto a região de provável início da fratura (B), esta última considerada para observação em MEV. Marcas características de uma fratura frágil (forma de leque) foram identificadas na região B, com a ponta do leque como uma região de provável início da fratura. (Q.Q. YU et al., 2013; KATHLEEN A. LEWICKI et al., 2016).

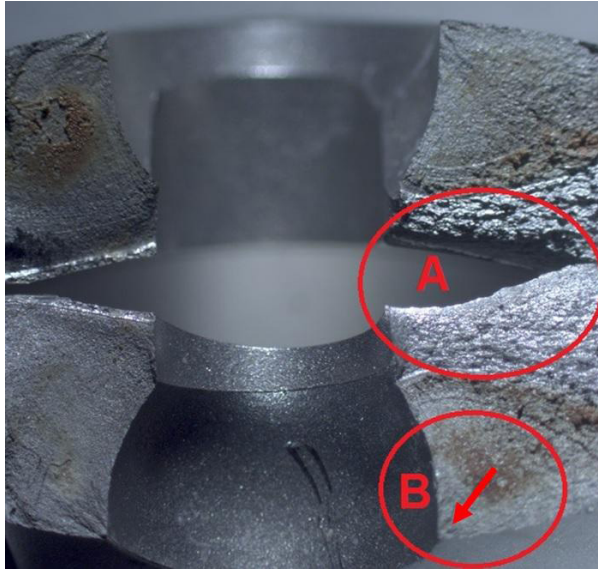


Figura 6 - Superfície da fratura, 10x. Região de provável início da falha indicado.

A Figura 7 exemplifica todos os espectros de energia característica obtidos por EDS para os elementos presentes no material analisado. Os resultados confirmaram tratar-se de um aço do tipo inoxidável. A Tabela 1 apresenta um ranqueamento dos elementos identificados e que estão de acordo com a composição química do aço AISI 316L, sendo este um aço inoxidável austenítico bastante usado para implantes temporários (LANDUCI, 2016; CASATI et al., 2016).

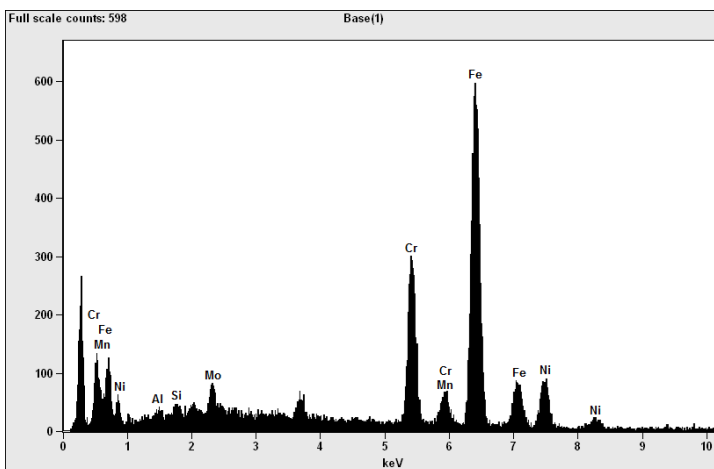


Figura 7 – Espectro das energias características dos elementos presentes na prótese fraturada obtido por EDS.

Uma comparação entre os resultados semi quantitativos de elementos no material analisado (Tabela 1) e a composição química do aço AISI 316L (Tabela 2) comprova que a placa era deste aço.

Elemento	Peso %	Peso % Erro	Atom %	Atom % Erro
<i>Cr K</i>	18,72	+/- 0,50	20,05	+/- 0,54
<i>Ni K</i>	12,3	+/- 0,92	11,67	+/- 0,87
<i>Mo L</i>	4,08	+/- 0,29	2,37	+/- 0,17
<i>Mn K</i>	1,76	+/- 0,33	1,79	+/- 0,33
<i>Si K</i>	0,6	+/- 0,10	1,18	+/- 0,19
<i>Al K</i>	0,55	+/- 0,11	1,13	+/- 0,23
Total	100		100	

Tabela 1 – Elementos presentes e percentagem relativa.

ELEMENTOS	AISI 316L	ISO 5832-1*	ASTM F138/ ASTM F139
Carbono (C)	0,03 máx.	0,03 máx.	0,03 máx.
Manganês (Mn)	2 máx.	2,0 máx.	2,00 máx.
Fósforo (P)	0,045 máx.	0,025 máx.	0,025 máx.
Enxofre (S)	0,03 máx.	0,010 máx.	0,010 máx.
Nitrogênio (N)	0,010 máx.	0,10 máx.	0,1 máx.
Cromo (Cr)	16 – 18	17,0 – 19,0	17,00 – 19,00
Molibdênio (Mo)	2 – 3	2,25 – 3,0	2,25 – 3,00
Níquel (Ni)	10 – 14	13,0 – 15,0	13,00 – 15,00
Cobre (Cu)	--	0,50 máx.	0,50 máx.
Silício (Si)	0,75 máx.	1,0 máx.	0,75 máx.
Ferro (Fe)	Balanço	Balanço	Balanço

* Equivalente à norma brasileira NBR ISO 5832-1.

Tabela 2 - Composição química do aço e suas correspondentes nas normas.

Fonte: Boletim informativo (ANVISA, 2011).

O AISI 316L austenítico possui baixo teor de carbono e é utilizado para inúmeras aplicações biológicas. Há um consenso em relação à necessidade de estrutura metalúrgica homogênea para implantes e próteses, para garantias de resistência à fadiga e a corrosão.

Portanto, devem possuir estrutura austenítica, de tamanho uniforme e grãos finos, com poucas inclusões e ter a obrigatoriedade de resistir em testes de corrosão intergranular (ANVISA, 2011).

Em relação ao níquel que é diretamente responsável pela estabilidade microestrutural do aço, combinado com a propriedade química do fósforo e enxofre, podem deixar o aço suscetível a falhar por fadiga e ataques de corrosão. Assim, o AISI 316L possui uma faixa de permissão menor destes elementos em sua concepção, quando comparado aos austeníticos ISO 5832-1, ASTM F138 E ASTM F139.

Em relação ao níquel, cromo e molibdênio, suas faixas de concentração são maiores quando comparados com ISO 5832-1 e ASTM F138, com isso resultam em uma maior proteção contra a corrosão por pites, já que os mesmos são elementos que constituem a camada de passivação na superfície do aço (BUSS, DONATH & VICENTE, 2011; CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Após a análise EDS foram realizadas medidas de teste de dureza Vickers. Nesse teste, revelou-se que o valor médio da dureza medida equivale a 402,5 HV0,2 ± 29,7, confirmando, portanto, que o aço em questão é o AISI 316L no estado ¾ duro, conforme Tabela 3. O estado ¾ duro remete a um certo grau de dureza gerado pelo processo de fabricação e que busca melhoria de propriedades, tal como aumento da resistência à fadiga.

Características Mecânicas

Dureza HV (Vickers)

Estado	Tipo de Aço										
	301	302	304	304 L	316	316 L	321	409	410	420	430
Recozido	≤ 195	≤ 200	≤ 180	≤ 180	≤ 195	≤ 195	≤ 195	≤ 180	≤ 195	≤ 200	≤ 180
1/4 Duro	260/ 310	270/ 320	250/ 300	240/ 290	270/ 320	270/ 320	270/ 320	-	-	-	-
1/2 Duro	310/ 360	310/ 380	300/ 350	290/ 340	320/ 370	320/ 370	320/ 370	-	-	-	-
3/4 Duro	360/ 410	370/ 430	350/ 400	340/ 390	370/ 420	370/ 420	370/ 420	-	-	-	-
Duro	390/ 440	410/ 470	390/ 440	380/ 430	410/ 460	400/ 450	-	-	-	-	-
Extra-Duro	430/ 510	450/ 520	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperado (Dureza HRC)	-	-	-	-	-	-	-	-	51	51	-

Tabela 3 - Especificação técnica dos aços inoxidáveis (Armco, 2017).

As Figuras 8, 9 e 10 exemplificam os aspectos microestruturais obtidos. Eles apresentaram-se como grãos austeníticos, de geometria equiaxial e tamanho uniforme.

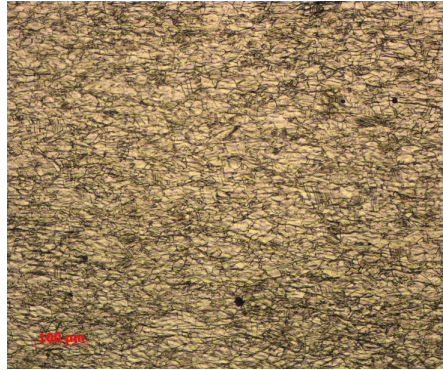


Figura 8 - Ataque Vilella, 100x.

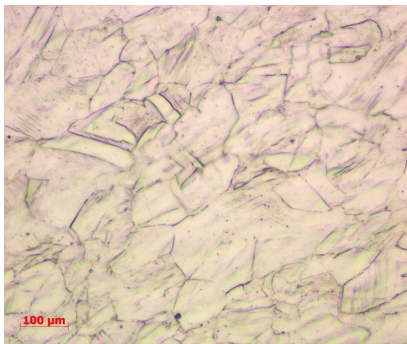


Figura 9 - Ataque Vilella, 500x.

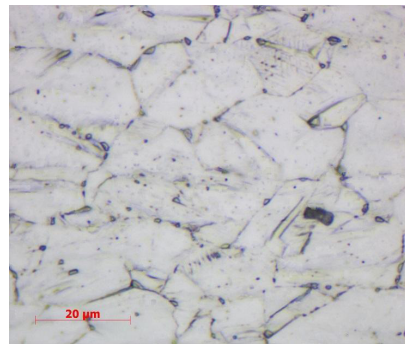


Figura 10 - Ataque Vilella, 1000x.

Um elevado grau de pureza no aço austenítico é exigido para aços inoxidáveis e não magnéticos utilizados como placas femorais. A reduzida presença de micro inclusões não-metálicas e a ausência da ferrita reduz a suscetibilidade a corrosão intergranular fazendo com que o material esteja de acordo com a norma ASTM F138, pré-estabelecida pela ANVISA de utilização de aços inoxidáveis em implantes.

A estrutura austenítica homogênea auxilia na resistência à corrosão bem como na resistência à fadiga (ANVISA, 2011). Os aspectos microestruturais obtidos parecem estar de acordo com as exigências da ANVISA, entretanto, esta conclusão está baseada apenas nos aspectos de MO.

Aspectos fractográficos revelaram a presença de pequena região deformada junto à borda da superfície interna na amostra obtida do furo número 4 (Figura 5 e Figura 6, região B), muito provavelmente proveniente do processo de fabricação, conforme melhor observado na Figura 11. Este pequeno defeito foi observado em escala macro, entretanto, somente em maiores magnificações foi possível a confirmação. Defeitos superficiais de usinagem geram pontos de concentração de tensões que podem levar dispositivos submetidos a carregamentos a um processo de falha, principalmente em situações de

carregamentos cíclicos (CANALE et al., 2008).

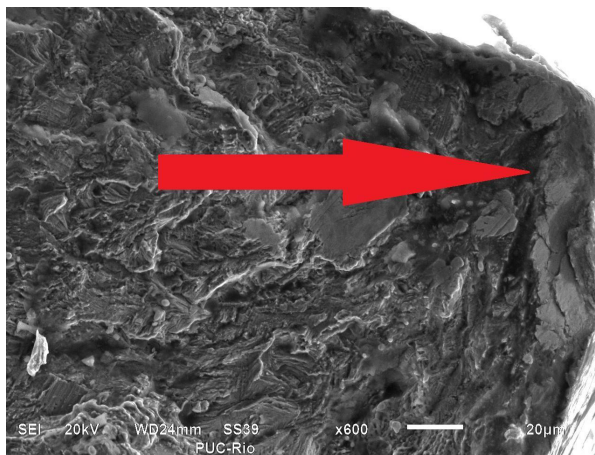


Figura 11 - Aspecto fractográfico, presença de defeito de fabricação/usinagem indicado, 600x.

As Figuras 12 e 13 exemplificam os aspectos da morfologia da superfície fraturada obtidos. Um aspecto típico de mecanismo de fratura por fadiga, com a presença de estrias na superfície, pôde ser observado em toda a extensão da fratura. Os ciclos de carregamento provocam o avanço da frente de propagação da trinca e formam as estrias ou pequenos degraus de espaçamento em escala micrométrica (LOPES, 2016).

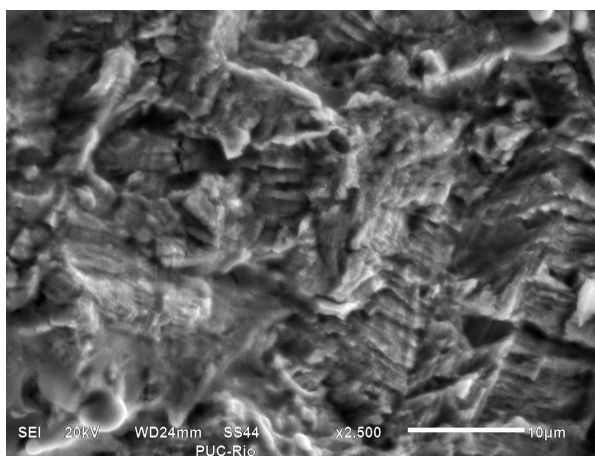


Figura 12 - Aspecto fractográfico, de 2500x.

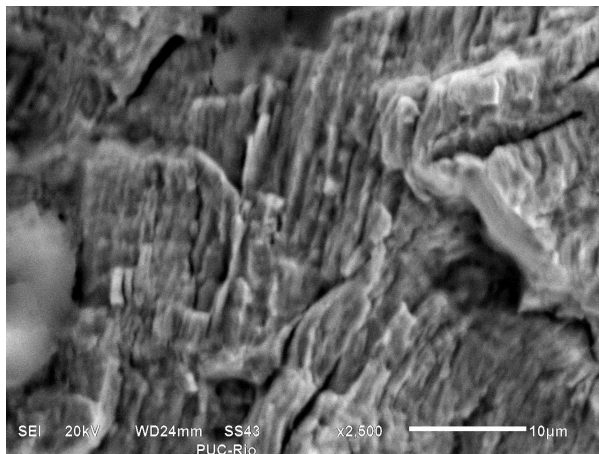


Figura 13 - Aspecto fractográfico apresentando estrias de fadiga associadas com o trincamento secundário na superfície de fratura. MEV, 2500x.

O defeito provocado na fabricação pode ter contribuído como um concentrador de tensões, sob o qual uma trinca foi nucleada e, posteriormente, propagada ao longo da utilização do implante. Essa situação justifica uma falha à tensões mais baixas daquelas às quais o material em condições normais resistiria e o reduzido tempo de operação do material na paciente, isto é, falhas em tensões abaixo do limite de escoamento do aço AISI 316L que é 231 MPa no estado recozido. (LANDUCI, 2016).

CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que houve falha por fadiga devido a cargas cíclicas geradas no uso da prótese e que o ponto de início do processo de propagação da trinca que levou à falha catastrófica, muito provavelmente, foi uma falha superficial de fabricação / usinagem.

O material atende as normas brasileiras ABNT para a comercialização do mesmo para implantes temporários, entretanto, não passa em ensaios de corrosão e resistência estabelecidos em norma ASTM F138-08 (ANVISA, 2011).

Recomenda-se uma maior precaução e controle de qualidade tanto na linha de construção como nos modais de transporte e estocagem a fim de que o componente mecânico seja oferecido ao paciente e ao médico responsável pela cirurgia a melhor condição da prótese.

A realização de ensaios de flambagem e a comparação com resultados de ensaios de fadiga em flexão irão garantir a qualidade isotrópica do material.

REFERÊNCIAS

1. Armco. Disponível em: <http://www.armco.com/>. Acesso em: 06 de fevereiro de 2017.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 5832-1. Implantes cirúrgicos - Materiais metálicos Parte 1: Aço inoxidável conformado, 2008.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM ISO 6507-1: Materiais metálicos – Ensaio de dureza Vickers. Parte 1: Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2008.
4. ASTM F138-08 - Standard specification for wrought 18 chromium - 14 nickel- 2.5 molybdenum stainless steel bar and wire for surgical implants – 01/05/2008 – REVISÃO 8.
5. AZEVEDO, C. R. F.; JUNIOR, E. H., Failure Analysis of surgical Implants of Brazil, Engineering Failure Analysis, EUA, v. 9, n. 6, p. 621-633, jun. 2010.
6. BOLETIM INFORMATIVO DE TECNOVIGILÂNCIA – ANVISA. comparação entre ligas de aço inox ASTM F138 e ASTM A276-10 (316L), 2011.
7. BOLETIM INFORMATIVO DE TECNOVIGILÂNCIA – ANVISA. Utilização de aços inoxidáveis em implantes- ISSN 2178-440X, 2011.
8. BUSS, G., DONATH, K. & VICENTE, M., Utilização de aços inoxidáveis em implantes, 2011.
9. CALLISTER, WILLIAM D.; RETHWISCH, DAVID G., Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 912 p., 2016.
10. CANALE, L.C.F.; MESQUITA, R.A.; TOTTEN, G.E. (Org.). Failure Analysis of Heat Treated Steel Components. Ohio: Asm International Materials Park, 636 p., 2008.
11. CASATI, R.; J.LEMKE; VERDANI, M.. Microstructure and Fracture Behavior of 316L Austenitic Stainless Steel Produced by Selective Laser Melting. Journal Of Materials Science & Technology. Milano, p. 738-744. 24, jun. 2016.
12. GERVAIS B., VADEAN A., RAISON M., BROCHU M., Failure analysis of a 316L stainless steel femoral orthopedic implant, 2016.
13. GOMES, L. S. & RIGOL, J. P., Mecanismos de Falhas Assépticas dos Implantes Artroplásticos de quadril, 2010.
14. GUERRA, F. L.; GARCIA, S. E.; JUAREZ, H. A.; HERNANDEZ, R. Failure analysis in 316L stainless steel supra condylar blade plate, 2015.
15. KATHLEEN A. LEWICKI, BSa, *, AUDREY J. MARTIN, BSa , JOHN-ERIK BELL, Mdb , DOUGLAS W. VAN CITTERS, PhDa, Fatigue failure of reverse shoulder humeral tray components of a single design, Journal of shoulder and elbow surgery, 2016.
16. LANDUCI, M. C., Caracterização das propriedades mecânicas de biomateriais. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2016.
17. LOPES, JHONATAN DA PONTE. Análise de vida à fadiga sob carregamentos não proporcionais através de modelo de dano contínuo. Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

18. SOARES, G. A., Rede de tecnologia & inovação, 2005.
19. Q. Q. YU; T. CHEN; X. L. ZHAO; Z. G. XIAO, Fatigue behavior of CFRP strengthened steel plates with different degree of damage, *Thin-Walled Structures* 69, 10 - 17, 2013.
20. Zimmer. Disponível em: <http://www.zimmer.com/>. Acesso em: 02 dezembro de 2016.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aciação elétrica 111, 119
Aço inoxidável 28, 63, 64, 68, 74, 111, 112, 113
Aços ARBL 1, 2
Ambientes agressivos 76, 89

B

Bambu 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172
Blindagem balística 120

C

Cicatrização 67, 174, 175, 181, 182
Coloração 92, 93, 94, 95, 96, 176, 179, 193
Compactação 133
Compósito 120, 122, 123, 124, 125, 130, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172
Corrosão 64, 69, 70, 71, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 200

E

Efeito memória 40, 41, 47, 51, 58, 59, 60, 61
Esponjas de poliuretano 151

F

Fadiga 63, 64, 69, 70, 71, 72, 73, 74
Fibras 153, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 189
Fibroína 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199

I

Impacto 24, 120, 121, 122, 124, 129, 130, 134, 138, 139, 141, 144, 145, 146, 149, 156, 164

L

Liofilização 187, 188, 190, 191, 193, 198, 199

M

Membranas 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 198, 199
Metálica 16, 79, 100, 102, 118, 165

Microdureza 1, 2, 4, 5, 7, 8, 14, 16, 19, 20, 22, 23, 26, 28, 29, 31, 34, 40, 42, 47, 56, 57, 58, 59, 63

Microestrutura 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 42, 46, 50, 59, 65, 149

MIG 14, 15, 16, 17, 27, 28

O

Óleo de rã 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 184

Óxido de Ti 92

P

Penetração de solda 14, 25, 26

Prótese femoral 63

Q

Quitosana 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 183, 184, 185, 186, 199

R

Recuperação 40, 41, 47, 48, 58, 59, 60, 111, 113, 116, 117, 118, 119

Redução 9, 3, 6, 7, 40, 48, 51, 58, 59, 60, 67, 100, 111, 112, 113, 117, 118, 133, 139, 141, 149

Remoção de óleo 151

Resíduos 107, 111, 112, 119, 151, 160, 166, 175

Resíduos siderúrgicos 111

Resina 164, 167, 169, 170, 172

Revestimento acrílico 76

Rota térmica 133

Rugosidade 79, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 154, 155, 192

T

Temperatura 3, 15, 23, 24, 26, 30, 32, 35, 41, 46, 47, 48, 49, 51, 54, 76, 85, 97, 102, 103, 114, 116, 122, 123, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 156, 166, 167, 169, 176, 177, 178, 185, 191


Tintas 76, 77, 78, 79, 85

Tratamento criogênico 40, 41, 48, 59, 60

Tratamento de esgoto 100, 102, 106, 109, 110

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br