

# 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 Cremona

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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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 Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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  
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. 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  
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  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza 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. 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<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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](http://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 ORGANIZADORES .....200**

**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.

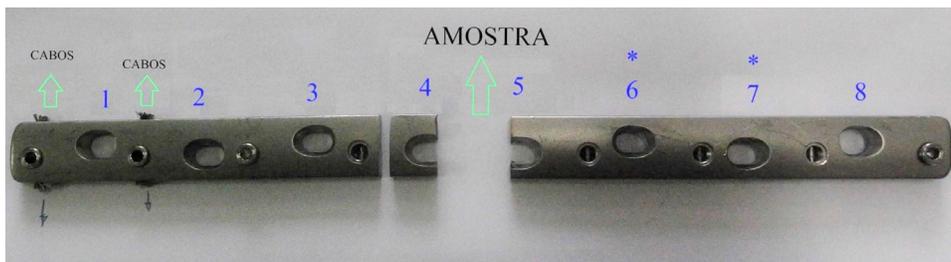


Figura 2 - Placa fraturada com o furos identificados e amostra já cortada para análise da superfície de fratura e outras propriedades. Os furos 6 e 7 apresentaram marcas de deformação internas. Pedacos do cabo usado para a colocação da prótese ainda estavam na placa e estão identificados na imagem.

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.

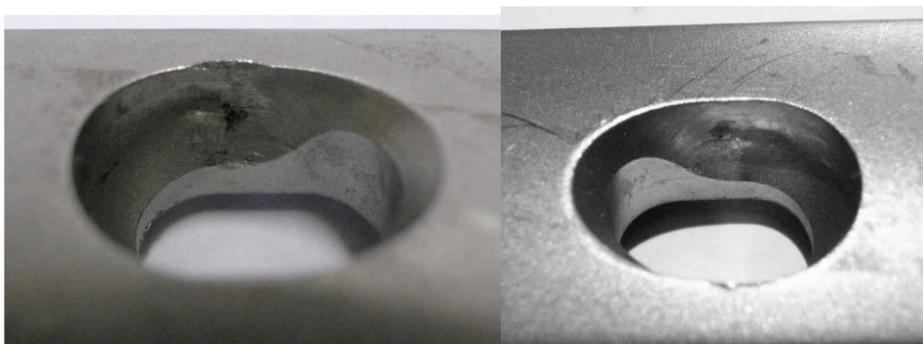


Figura 3 - Marcas de deformações encontradas nos furos 6 e 7, respectivamente.

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).

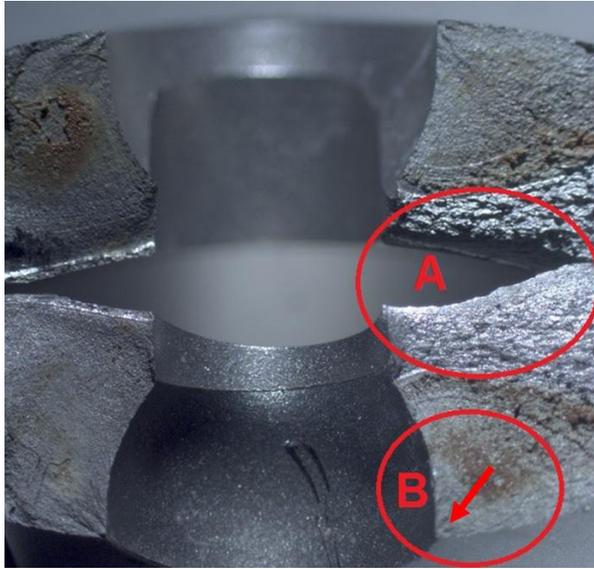


Figura 6 - Superfície da fratura, 10x. Região de provável início da falha indicado.

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).

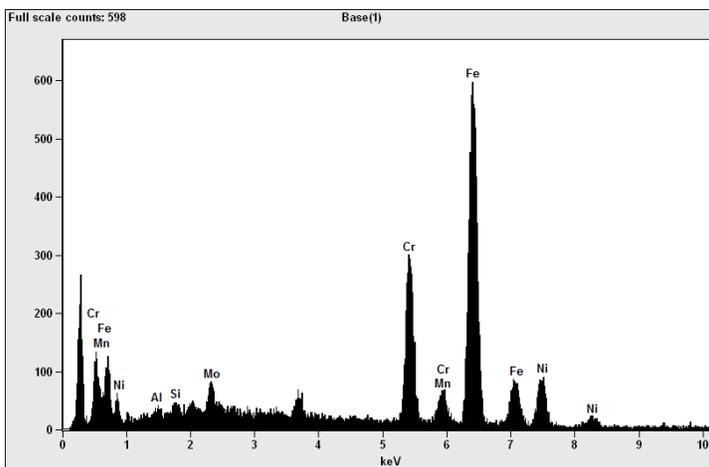


Figura 7 – Espectro das energias características dos elementos presentes na prótese fraturada obtido por EDS.

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.

<b>Elemento</b>	<b>Peso %</b>	<b>Peso % Erro</b>	<b>Atom %</b>	<b>Atom % Erro</b>
<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
<b>Total</b>	100		100	

Tabela 1 – Elementos presentes e percentagem relativa.

<b>ELEMENTOS</b>	<b>AISI 316L</b>	<b>ISO 5832-1*</b>	<b>ASTM F138/ ASTM F139</b>
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.

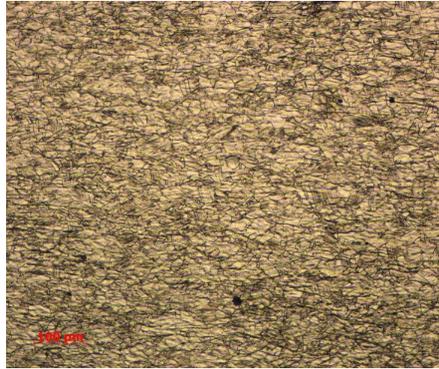


Figura 8 - Ataque Vilella, 100x.

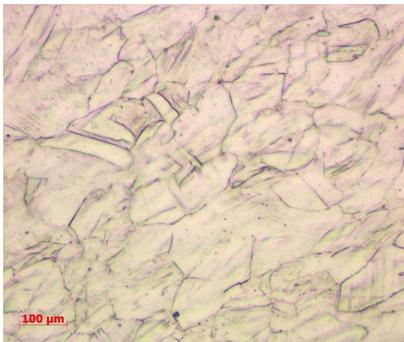


Figura 9 - Ataque Vilella, 500x.

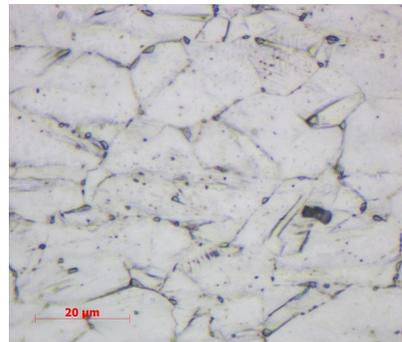


Figura 10 - Ataque Vilella, 1000x.

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).

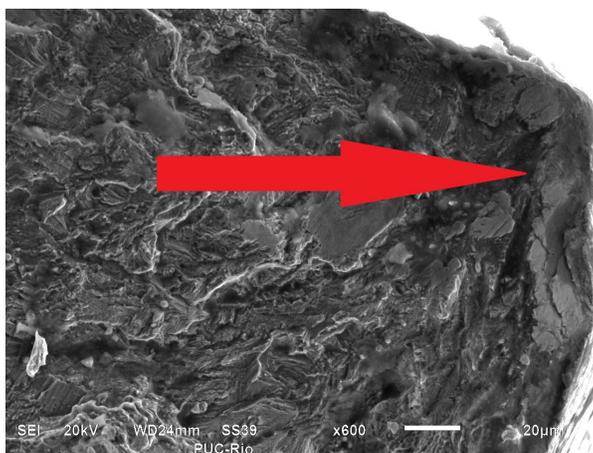


Figura 11 - Aspecto fractográfico, presença de defeito de fabricação/usinagem indicado, 600x.

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).

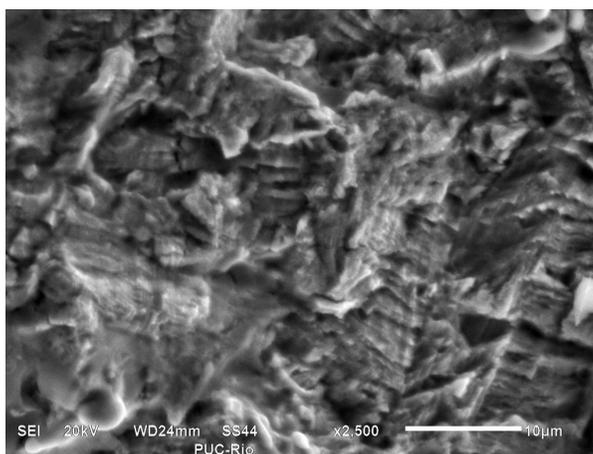


Figura 12 - Aspecto fractográfico, de 2500x.

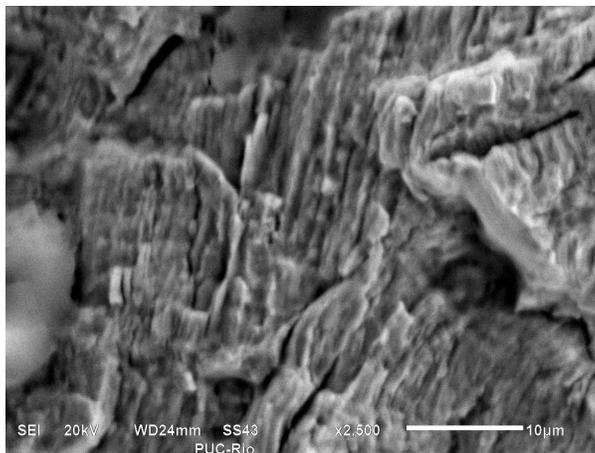


Figura 13 - Aspecto fractográfico apresentando estrias de fadiga associadas com o trincamento secundário na superfície de fratura. MEV, 2500x.

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

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta

## 2

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