



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

**Atena**  
Editora  
Ano 2020

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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 4.0 Internacional (CC BY 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

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  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto 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  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
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> 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<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> 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
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. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
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. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
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. 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  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
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  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Luiza Alves Batista  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadores:** Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

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

A639 A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-5706-376-7

DOI 10.22533/at.ed.767201109

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João.

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

A área de projetos, simulação bem como o desenvolvimento de novo materiais vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Outra área de grande importância é o estudo das naturezas térmicas, pois devido a mudanças significativas no meio ambiente, gradientes cada vez maiores de amplitude térmica vêm sendo registrados. Estes afetem diretamente a processos, previsões de para projetos e ainda aos custos finais de produtos.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias. Trabalhos envolvendo simulações devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

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

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE EQUAÇÃO TEÓRICA NA PREDIÇÃO DE RUGOSIDADE DO AÇO ABNT 1045 SUBMETIDO AO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO**

Mayara Fernanda Pereira

Bruno Souza Abrão

Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011091**

### **CAPÍTULO 2..... 8**

#### **AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO AÇO N2711 APÓS RETIFICAÇÃO COM REBOLO DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO**

Henrique Butzlaff Hübner

Rosemar Batista da Silva

Marcus Antônio Viana Duarte

Eduardo Carlos Bianchi

**DOI 10.22533/at.ed.7672011092**

### **CAPÍTULO 3..... 15**

#### **AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE DO INCONEL 718 APÓS RETIFICAÇÃO COM REBOLOS DE DIFERENTES ABRASIVOS CONVENCIONAIS**

Rodrigo de Souza Ruzzi

Raphael Lima de Paiva

Otávio de Souza Ruzzi

Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011093**

### **CAPÍTULO 4..... 22**

#### **AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE GERADA PELO PROCESSO DE JATEAMENTO EM DIFERENTES DISTÂNCIAS DO BOCAL À PEÇA**

Henrique Butzlaff Hübner

Antonio Favero Filho

Freddy Alejandro Portillo Morales

Mayara Fernanda Pereira

Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011094**

### **CAPÍTULO 5..... 31**

#### **ENSAIO BALÍSTICO DE LAMINADOS DE AÇO PARA FUTURA APLICAÇÃO EM BLINDAGEM ADD-ON ESPAÇADA**

João Pedro Inácio Varela

Ednaldo Gomes da Rocha Júnior

Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.7672011095**

### **CAPÍTULO 6..... 47**

#### **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE FILMES HÍBRIDOS BIODEGRADÁVEIS**

**COMPOSTOS POR FÉCULA DE BATATA (FB), GELATINA BOVINA (GB) E QUITOSANA (QT)**

Francielle Cristine Pereira Gonçalves  
Kristy Emanuel Silva Fontes  
Elano Costa Silva  
Arthur Domingos Mesquita De Moraes  
Dyana Alves De Oliveira  
Théo Martins De Alencar Paiva  
Ricardo Alan Da Silva Vieira  
Manoel Quirino da Silva Júnior  
Francisco Leonardo Gomes de Menezes

**DOI 10.22533/at.ed.7672011096**

**CAPÍTULO 7..... 60**

**REFLECTIVITY BEHAVIOR IN X-BAND OF MICROWAVE ABSORBERS BASED ON CU SUBSTITUTED NIZN SPINEL NANOCRYSTALLINE FERRITE**

Valdirene Aparecida da Silva  
Evandro Luis Nohara  
Mirabel Cerqueira Rezende

**DOI 10.22533/at.ed.7672011097**

**CAPÍTULO 8..... 71**

**DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESE PERSONALIZADA DA ATM ATRAVÉS DA GERAÇÃO DE IMAGEM 3D BIOMECÂNICA A PARTIR DE TOMOGRAFIA**

Rafael Ferreira Gregolin  
Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia  
Ruís Camargo Tokimatsu  
João Antônio Pereira  
Bruna Beatriz de Paiva

**DOI 10.22533/at.ed.7672011098**

**CAPÍTULO 9..... 81**

**PROJETO ROBUSTO DE CIRCUITO *SHUNT* RESSONANTE PARA ATENUAÇÃO PASSIVA DE VIBRAÇÕES EM VIGA COMPÓSITA**

Lorrane Pereira Ribeiro  
Antônio Marcos Gonçalves de Lima

**DOI 10.22533/at.ed.7672011099**

**CAPÍTULO 10..... 93**

**ESTUDO COMPARATIVO DE DESEMPENHO ENTRE GLP E GNV EM GERADOR À COMBUSTÃO**

Paulo Roberto Hahn  
Jorge Luis Plácido de Borba  
Marco Antônio Frölich  
Moisés de Mattos Dias  
Elienai Josias Brum Dutra  
Monir Göethel Borba  
Patrice Monteiro de Aquim

Eduardo Luis Schneider  
José Lesina Cezar  
Lirio Schaeffer

**DOI 10.22533/at.ed.76720110910**

**CAPÍTULO 11 ..... 104**

**MODELAGEM DE ESCOAMENTOS GÁS-LÍQUIDO INTERMITENTES: CORRELAÇÕES PARA O COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR**

Lucas Avosani  
Luiz Eduardo Melo Lima

**DOI 10.22533/at.ed.76720110911**

**CAPÍTULO 12..... 117**

**RADIAÇÃO TÉRMICA EM SUPERFÍCIES SELETIVAS**

Gustavo César Pamplona de Sousa  
Raimundo Nonato Calazans Duarte  
Wanderley Ferreira de Amorim Júnior  
Kelly Cristiane Gomes da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.76720110912**

**CAPÍTULO 13..... 128**

**RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE CONTROLE ÓTIMO UTILIZANDO ALGORITMOS GENÉTICOS**

Arthur Henrique Iasbeck  
Fran Sérgio Lobato

**DOI 10.22533/at.ed.76720110913**

**CAPÍTULO 14..... 139**

**CONSTRUÇÃO DO TEODOLITO CASEIRO:UMA ALTERNATIVA BARATA E EFICIENTE**

Ronis Cley Fontes da Silva  
Lourivan Carneiro de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.76720110914**

**CAPÍTULO 15..... 151**

**ANÁLISE DA POTÊNCIA ELÉTRICA NA RETIFICAÇÃO DO AÇO ENDURECIDO SAE 52100 EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE CORTE**

Raphael Lima de Paiva  
Rodrigo de Souza Ruzzi  
Otávio de Souza Ruzzi  
Rosemar Batista da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.76720110915**

**SOBRE OS ORGANIZADORES ..... 159**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 160**

## DESENVOLVIMENTO DE PRÓTESE PERSONALIZADA DA ATM ATRAVÉS DA GERAÇÃO DE IMAGEM 3D BIOMECÂNICA A PARTIR DE TOMOGRAFIA

*Data de aceite: 01/09/2020*

*Data de submissão: 06/08/2020*

### **Rafael Ferreira Gregolin**

Universidade Federal da Grande Dourados  
(UFGD), Faculdade de Engenharia  
Dourados – Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/3102472902399427>

### **Cecília Amélia de Carvalho Zavaglia**

Universidade Estadual de Campinas  
(UNICAMP), Departamento de Engenharia de  
Materiais  
Campinas – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9726544779319467>

### **Ruíis Camargo Tokimatsu**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Ilhas Solteira – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/9442419310007343>

### **João Antônio Pereira**

Universidade Estadual Paulista (UNESP),  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Ilhas Solteira – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/0224087261544502>

### **Bruna Beatriz de Paiva**

Universidade Federal da Grande Dourados  
(UFGD), Faculdade de Engenharia  
Dourados – Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/1560251886165237>

**RESUMO:** Biomodelos são cópias físicas das estruturas anatômicas de regiões ou órgãos do corpo humano utilizados para diagnóstico e planejamento cirúrgico. O uso de imagens tomográficas para geração de modelos 3D e fabricação de biomodelos tem despertado um grande interesse na área médica e de bioengenharia. Além da criação do biomodelo é possível, com o uso das imagens, a geração de modelos computacionais representativos, possibilitando com isso, a realização de diversas simulações e análises biomecânicas da região ou órgão de interesse, visando a fabricação de próteses ou órteses personalizadas. Neste trabalho é apresentado o projeto de um implante personalizado da ATM (Articulação Temporomandibular), solicitado mecanicamente e idealizado para fabricação em liga de titânio (Ti6Al4V) pelo processo de manufatura aditiva do tipo DMLS (Sinterização Direta de Metais a Laser). Através do modelo criado para a região da ATM foram realizadas simulações computacionais de tensões e deformações na mandíbula implantada do paciente, considerando esforços severos da mastigação humana aplicados nos dentes frontais (incisivos) da mandíbula. A máxima tensão encontrada na mandíbula implantada, localizada na prótese, foi de 191,10 MPa e a máxima deformação encontrada na mandíbula foi de 0,28 mm.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem Tridimensional, Biomodelos, Elementos Finitos, Imagem Médica, Próteses Personalizadas.

## DEVELOPMENT OF PERSONALIZED PROSTHESIS OF THE TMJ THROUGH THE GENERATION OF BIOMECHANICAL 3D IMAGE FROM TOMOGRAPHY

**ABSTRACT:** Biomodels are physical copies of the anatomical structures of regions or organs of the human body used for diagnosis and surgical planning. The use of tomographic images to generate 3D models and manufacture of biomodels has aroused great interest in the medical and bioengineering field. Besides the creation of the biomodel it is possible, using the images, the generation of representative computational models, making possible the accomplishment of several simulations and biomechanical analyzes of the region or organ of interest, aiming at the manufacture of customized prostheses or orthoses. In this work the design of a custom TMJ (Temporomandibular Articulation) implant is presented, mechanically requested and idealized for titanium alloy (Ti6Al4V) production by the additive manufacturing process of DMLS (Direct Sintering of Laser Metals). Through the model created for the TMJ region, computational stress and strain simulations were performed in the patient's mandible, considering the severe efforts of human mastication applied to the front teeth (incisors) of the mandible. The maximum tension found in the implanted mandible located in the prosthesis was 191.10 MPa and the maximum deformation found in the mandible was 0.28 mm.

**KEYWORDS:** Three-Dimensional Modeling, Biomodels, Finite Elements, Medical Imaging, Custom Prosthetics.

### 1 | INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios na medicina atual é a substituição de partes do corpo humano, que não são mais funcionais devido à degradação natural, doenças e traumas, por implantes. Inúmeros problemas podem ocorrer, tanto na realização da implantação da prótese intracorpórea devido, principalmente, as dificuldades inerentes à colocação da mesma que nem sempre é igual e adequada a estrutura do paciente, como devido à incompatibilidade do material no corpo humano e mesmo o desgaste prematuro dos componentes, causado por projetos e implantações inadequadas, que pode levar a uma falha e a uma nova cirurgia.

Notadamente, a evolução dos computadores tem levado a um grande avanço na qualidade da modelagem e simulação computacional nas diferentes áreas do conhecimento. Na área médica, a importância da criação de modelos 3D vem da possibilidade de visualização de uma réplica anatômica do paciente, que permita a avaliação e a simulação de técnicas cirúrgicas a partir dessa réplica e a melhoria da comunicação médico-paciente. Permite ainda o estudo do modelo buscando entender e melhorar a sua funcionalidade e também serve como base para elaboração de projetos de implantes protéticos personalizados. No entanto a obtenção de modelos tridimensionais das regiões ósseas não é uma tarefa fácil, principalmente devido à complexidade da geometria dessas regiões (MEURER, 2008; JÓIA FILHO e CAPELLO SOUSA, 2009).

Uma solução para esse problema de obtenção de modelos 3D das regiões ósseas do paciente pode estar no desenvolvimento de ferramentas e metodologias para a geração de

imagens tridimensionais a partir da utilização de imagens tomográficas computadorizadas. Essas ferramentas têm como base softwares que possibilitam a análise das imagens bidimensionais geradas na tomografia computadorizada (TC) as quais são tratadas e posteriormente utilizadas na reconstrução tridimensional (MEURER, 2008; JÓIA FILHO e CAPELLO SOUSA, 2009).

As imagens digitais tridimensionais possibilitam a criação de próteses e órteses personalizadas a partir de uma cópia fiel da anatomia do paciente. Permite ainda o desenvolvimento de um implante, usando o próprio biomodelo gerado, buscando uma perfeita adaptação à região do tecido, órgão ou função do corpo que se deseja substituir.

Para que o processo de desenvolvimento de um biomodelo ou de uma prótese personalizada funcione adequadamente é preciso entrar no campo da multidisciplinaridade. Profissionais de áreas distintas são necessários para que todo o processo seja concluído com eficiência. É muito importante a troca de informações entre profissionais da área médica, enfermeiros, fisioterapeutas, cirurgiões, dentistas com os profissionais das ciências computacionais e engenharias. É essencial para equipe médica, em alguns casos, o planejamento da cirurgia com a utilização de um biomodelo, pois isso possibilita a verificação palpável da área que será operada e substituída pelo implante. Os médicos e profissionais envolvidos também podem manipular o objeto físico e realizar simulações da cirurgia, manuseando todos os instrumentais cirúrgicos e o próprio implante, podem ainda realizar conexões da prótese com a região de interesse da anatomia humana a ser substituída (biomodelo) (SILVA et al., 2006).

A geração de modelos tridimensionais da anatomia humana e a criação dos biomodelos físicos vêm auxiliando os profissionais da área médica por mais de uma década. Inúmeros estudos relatam a criação dos biomodelos para auxiliar nas cirurgias e o sucesso dessas cirurgias com a utilização desse processo. Mais recentemente, o uso da análise computacional através dos modelos virtuais está crescendo e auxiliando tanto nas cirurgias reparatórias como no projeto dos implantes protéticos personalizados (individualizados), através das simulações computacionais (SILVA et al., 2006; MEURER, 2008; JÓIA FILHO e CAPELLO SOUSA, 2009).

O trabalho que será apresentado a seguir tem o objetivo de construir uma prótese de substituição parcial da ATM denominada Placa Condilar da ATM, personalizada e produzida em liga de titânio (Ti-6Al-4V) pelo processo de manufatura aditiva conhecido como Sinterização direta de metais a laser (DMLS).

## **2 | MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi concebido a partir de arquivos da tomografia computadorizada do crânio de um indivíduo realizado em um tomógrafo Cone Beam i-CAT. Os arquivos tomográficos

foram recebidos no formato DICOM cedidos pelo Laboratório de Biofabricação (INCT-BIOFABRIS).

Todos os parâmetros utilizados no tomógrafo seguiram procedimento padrão para geração de arquivos no formato DICOM. A tomografia computadorizada gerou 577 imagens bidimensionais em tons de cinza no tamanho de 800 x 800 pixels. O espaçamento (espessura) entre as fatias (imagens bidimensionais) do crânio foi de 0,30 mm.

Para conversão dos arquivos da TC em um modelo geométrico 3D foi utilizado o software *Invesalious* que possibilita a exportação da superfície tridimensional na extensão STL. As correções das imperfeições da imagem gerada, suavização e separação da região de interesse foram feitas utilizando os softwares *Rhinocerus* e *Meshlab*, sendo que posteriormente a imagem foi exportada em um arquivo do tipo IGES. Utilizou-se o software *Solidworks* para realização do diagnóstico de importação e reparação da malha de triângulos STL (correção de imperfeições na malha triangular) e em seguida deu-se a montagem dos componentes do modelo no software em questão. Os softwares *Invesalious*, *Rhinocerus*, *Solidworks* e *Meshlab* foram instalados em um computador PC com processador Intel Pentium P6200, 2.13GHz e 4.00 GB de memória RAM que utiliza o sistema operacional Windows Seven Home Basic.

O arquivo de extensão IGES foi importado no software *Ansys* na interface *Workbench* para simulação pelo método de elementos finitos do implante personalizado estudado denominado por Placa Condilar da ATM utilizando-se o elemento sólido tetraédrico (Solid187).

O elemento SOLID187 é um elemento com 10 nós e 6 graus de liberdade em cada nó, permitindo translações e rotações nos eixos x, y e z. O elemento é composto por 10 nós distribuídos conforme representação ilustrada na figura 1. Esse elemento permite simular a plasticidade, hiperelasticidade, a deformação, enrijecimento, deflexão de grande porte e capacidades de grande tensão. Usado frequentemente em análises estruturais de geometrias sólidas complexas (ANSYS WORKBENCH, 2006).

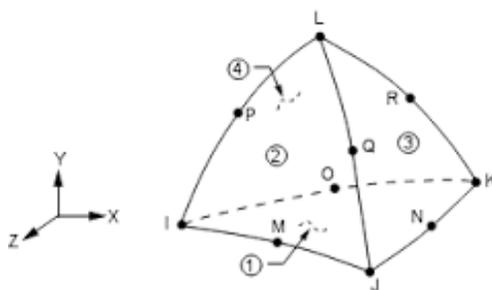


Figura 1 – Elemento Sólido Tetraédrico SOLID187

Fonte: Ansys Workbench (2006).

O software *Meshlab* é uma ferramenta gratuita desenvolvida com o apoio do projeto 3D-coform, o software *Invesalio* é uma ferramenta livre que pode ser instalada através de links da internet. Já o software *Rhinoceros* é comercial, porém permite a instalação e o salvamento de 25 arquivos gratuitamente. As licenças dos softwares *Solidworks* e *Ansys* são de propriedade do Laboratório de Simulação Numérica da FEIS/UNESP.

As condições de contorno, propriedades dos materiais e forças musculares aplicadas no modelo para simulação foram obtidas a partir da literatura (NETTER, 1997; SOBOTTA, 1997; ASHBY, 1999; ULBRICH, 2003; YING, 2006; BERTOL, 2008; DONNARUMMA, 2010; MAHDIAN, 2013; PARTHASARATHY, 2014; AL-AHMARI, 2015). Essas considerações tomam como base principalmente os trabalhos de Bertol (2008), Mahdian (2013) e Al-Ahmari (2015). No modelo matemático todos os materiais foram considerados com regime elástico linear, consideração também presente nos trabalhos estudados. A opção de não simular a conexão da prótese por parafusos de fixação na mandíbula do paciente foi utilizada devido à hipótese de crescimento ósseo nessa região, criando uma conexão ideal entre implante e mandíbula. Como explanado por Shimano (2005) o titânio induz o crescimento ósseo na região onde é introduzido e, além disso, processos de acabamento superficial podem ser utilizados aumentando o crescimento ósseo e permitindo uma melhor conexão entre prótese e mandíbula.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Projeto do implante personalizado Placa Condilar da ATM

A partir dos arquivos tomográficos foi gerada uma mandíbula tridimensional do paciente através do software *Invesalio*, posteriormente foi copiada a superfície esquerda da face da mandíbula através de ferramentas computacionais, produzindo o mesmo contorno da região de implantação para a prótese desenvolvida. Nesse ponto foi aplicada uma espessura na superfície criada, pois ela é apenas uma face sem profundidade, no caso do implante Placa Condilar da ATM foi definida espessura de 2,0 mm para geração de um sólido 3D a partir da superfície. Esse processo foi realizado no software *Rhinoceros* e pode ser identificado na figura 2.

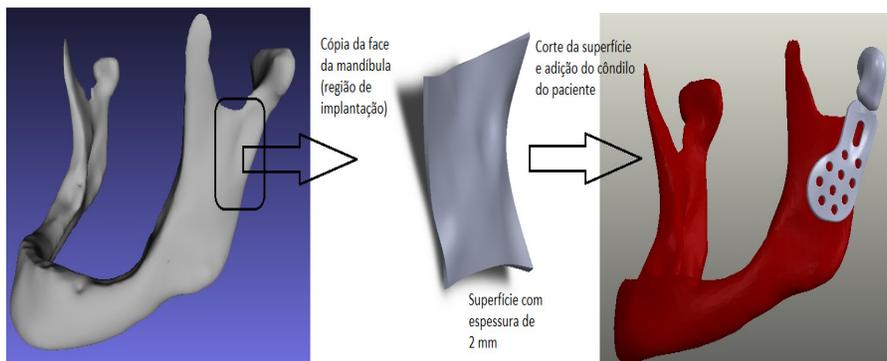


Figura 2 – Superfície espelhada da mandíbula mostrando a espessura do implante

Fonte: Dados do próprio autor.

Após a geração da superfície o arquivo foi exportado em formato IGES, possibilitando a importação para o software *SolidWorks*, permitindo assim a realização da modelagem final do implante.

Com a geometria no *SolidWorks* foram realizados vários processos como cortes, furações, arredondamentos e pôr fim a operação booleana de união do côndilo retirado da mandíbula do paciente com a peça desenvolvida. O diâmetro da furação da placa que receberá os parafusos de fixação foi estabelecido com dimensão de 2,8 mm permitindo o uso de parafusos comerciais produzidos em titânio e encontrados no mercado nacional.

### 3.2 Criação do modelo da região Crânio-Mandibular e Implante

Utilizando o modelo computacional da mandíbula já criado, foi realizada a ressecção do côndilo esquerdo da mandíbula permitindo o acoplamento do implante projetado. Na figura 3 está ilustrada essa operação. A mandíbula apresentada em (a) ilustra a ressecção do côndilo esquerdo, onde foi realizado um corte na geometria da mandíbula através de ferramentas computacionais. Na mandíbula mostrada em (b) tem-se o conjunto mandíbula e prótese. Esse novo modelo computacional será usado para o cálculo dos esforços no conjunto crânio-mandibular e implante através do método de elementos finitos no software *Ansys* apresentando os resultados dos mapas de tensões e deformações da área de interesse.

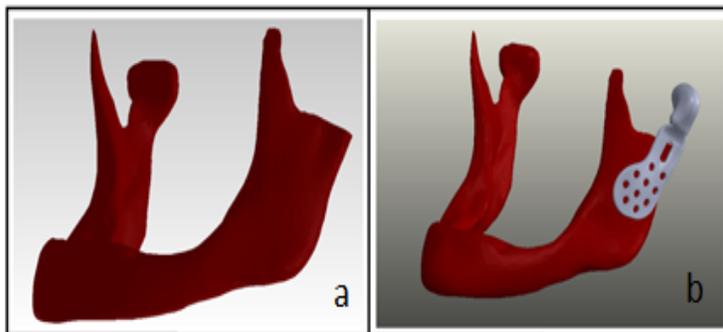


Figura 3 – Ressecção da mandíbula do paciente

Fonte: Dados do próprio autor.

### 3.3 Simulação dos esforços no conjunto Crânio-Mandibular e Implante

Após acoplamento do implante na mandíbula no software *SolidWorks* o novo conjunto mandíbula e prótese foi exportado para o software *Ansys*.

As propriedades utilizadas no modelo do *Ansys* para o material da Placa Condilar da ATM foram obtidas através do ensaio de tração do titânio fabricado por manufatura aditiva.

O implante em titânio (Placa Condilar da ATM) foi introduzido apenas em um dos lados da mandíbula, criando assim uma assimetria no modelo matemático com o objetivo de simular uma condição crítica de cargas, garantindo a resistência da prótese em casos extremos de carregamento.

Após introduzir as propriedades dos materiais no software *Ansys*, a etapa seguinte é gerar a malha de elementos finitos com riqueza suficiente para apresentar, após as simulações, nítida convergência das tensões. A malha de elementos finitos apresenta a quantidade de nós e elementos de 804.595 nós e 538.307 elementos.

As condições de contorno para o modelo crânio, mandíbula e prótese unidos são apresentadas na figura 4. Os valores de forças nos músculos são da ordem de 500 N para o músculo Masseter, 300 N para o músculo Pterigoideo e 200 N para o músculo Temporal (NETTER, 1997; SOBOTTA, 1997; YING, 2006; BERTOL, 2008; MAHDIAN, 2013; AL-AHMARI, 2015).

Com o modelo matemático criado e com as condições de contorno definidas passou-se para o cálculo das tensões e deformações

Os resultados em forma de mapas estão apresentados na figura 5. Na figura 5(a) é mostrado o mapa de tensões no modelo e na figura 5(b) o mapa das deformações. No mapa de tensões da figura 5(a) foi verificado que as maiores tensões estão concentradas próximas ao pescoço do implante personalizado, região em vermelho na figura.

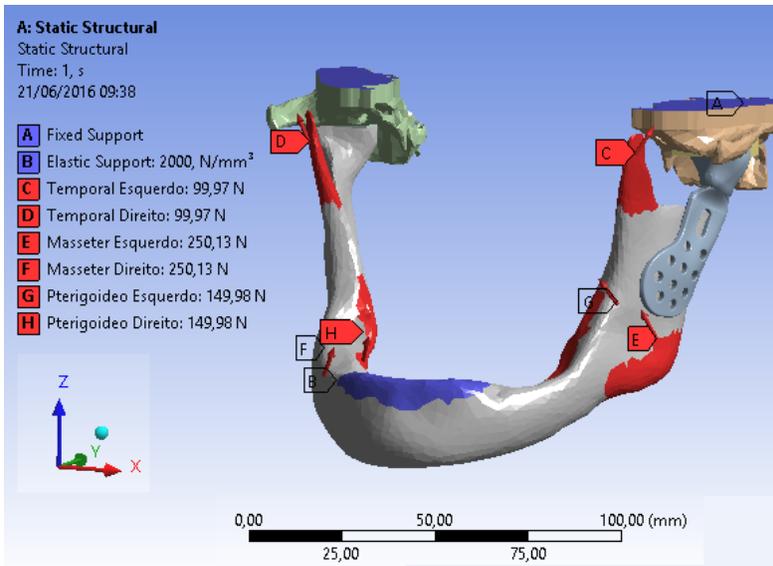


Figura 4 – Condições de contorno do modelo Crânio-Mandíbula-Prótese

Fonte: Dados do próprio autor.

Na figura 5(b) as maiores deformações, área em vermelho no mapa, estão próximas a região de fixação do músculo temporal.

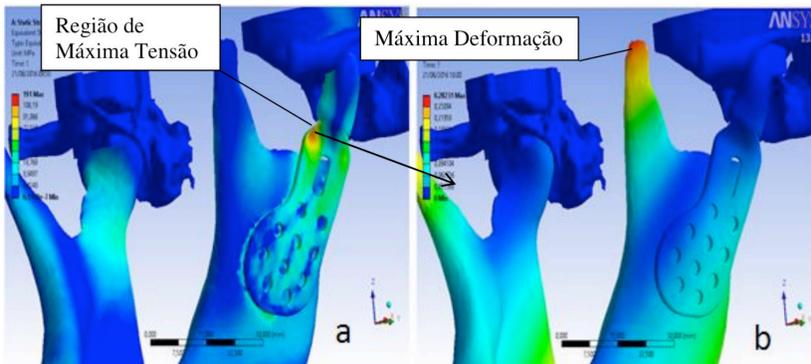


Figura 5 – Mapa de tensões e deformações do modelo Crânio-Mandíbula-Prótese

Fonte: Dados do próprio autor.

Nota-se na figura 5(b) que a Placa Condilar da ATM apresenta deslocamentos em conjunto com a mandíbula, condição criada através de modificações na rigidez do implante para minimizar o enrijecimento da região (diminuição da espessura do corpo da Placa

Condilar da ATM). Essa condição é de extrema importância, pois tem como consequência diminuir a artrodese (enrijecimento) da região, permitindo movimentação da área que recebeu o implante da ATM, e assim evitando a perda óssea do local por inatividade biomecânica (BENTO, 2003).

A maior tensão de von-Mises atingiu o valor de 191,10 MPa e a máxima deformação total foi de 0,28 mm.

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma modelagem tridimensional do conjunto da ATM de um indivíduo obtida a partir de uma tomografia computadorizada do crânio e posteriormente foi feita a análise estrutural pelo método de elementos finitos no implante desenvolvido através do modelo criado.

Uma limitação do modelo apresentado é não considerar as diferentes densidades e tipos de estruturas do osso da mandíbula e do osso do crânio. O modelo criado no software *Invesalious* e exportado na extensão STL assume uma estrutura totalmente homogênea de densidade compacta do osso humano.

Também é necessário atentar-se que a função do implante Placa Condilar da ATM no corpo humano, foi comprovada apenas por simulações numéricas necessitando de avaliações experimentais mais profundas possibilitando o embasamento final de confiança no desenvolvimento da prótese.

Como a maior tensão encontrada na simulação está bem abaixo do limite de escoamento do Titânio (Ti6Al4V), isso leva ao entendimento que o implante projetado possui ótimos indicativos de requisitos mecânicos para a função à que foi idealizado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro para viagens entre UNESP (Ilha Solteira/SP) e UNICAMP (Campinas/SP) concebido pelo projeto PROCAD. Agradecem também o apoio do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Biofabricação (INCT-BIOFABRIS).

## REFERÊNCIAS

AL-AHMARI, Abdulrahman et al. A comparative study on the customized design of mandibular reconstruction plates using finite element method. *Advances in Mechanical Engineering*, London, v. 7, n. 7, p. 1687814015593890, 2015.

ANSYS WORKBENCH, 2006. "Ansys 11.0 Program Documentation, SAS IP, Inc." ASHBY, M. F. *Materials selection in mechanical design*. 2. ed. Butterworth-Heinemann, 1999. 513p.

BENTO, D. A. Análise de resistência mecânica em implantes de osso - um enfoque numérico e experimental. 2003. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BERTOL, L. S. Contribuição ao estudo da prototipagem rápida, digitalização tridimensional e seleção de materiais no design de implantes personalizados. 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

DONNARUMMA, M. D. C. et al. Disfunções temporomandibulares: sinais, sintomas e abordagem multidisciplinar. *Revista CEFAC*, Rio de Janeiro, v. 12, n. 5, p. 788-794, 2010.

JÓIA FILHO, P.; CAPELLO SOUSA, E. A. Reconstrução e geração de malhas em estruturas biomecânicas tridimensionais para análise por elementos finitos. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 15-20, 2009.

MAHDIAN, N. et al. 3D reconstruction of TMJ after resection of the cyst and the stress-strain analyses. *Elsevier: Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Shannon, v. 110, n. 3, p. 279–289, 2013.

MEURER, M.I. et al. Aquisição e manipulação de imagens por tomografia computadorizada da região maxilofacial visando à obtenção de protótipos biomédicos. *Radiologia Brasileira*, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 49-54, 2008.

NETTER, F. H. Atlas de anatomia humana. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1997. 525 p.

PARTHASARATHY, J. 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery. *Annals of Maxillofacial Surgery*, Mumbai, v. 4, n. 1, p. 9–18, 2014.

SHIMANO, S. G. N. Comportamento mecânico e análise dimensional de parafusos corticais de aço inoxidável e liga de titânio submetidos ao ensaio de torção. 2005. 101 f. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SILVA, J. V. L.; Gouveia, M. F.; Santa Barbara, A.; REIS, M. C.; ZAVAGLIA, C. A. C.; Aplicación del prototipaje rápido al tratamiento de defectos cráneo faciales. *Revista CENIC Ciências Biológicas*, Havana, v. 37, n. 3, p. 1-5, 2006.

SOBOTTA, J. Sobotta atlas of human anatomy. [S. l.]: Williams & Wilkins, 1997.

ULBRICH, C. B. L. Engenharia Reversa e Prototipagem Rápida Estudos de Casos. 2003. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

YING, T. I. E. et al. Three-dimensional finite-element analysis investigating the biomechanical effects of human mandibular reconstruction with autogenous bone grafts. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, London, v. 34, n. 5, p. 290-298, 2006.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Acabamento 2, 3, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 22, 25, 28, 75, 151, 152

Aço Carbono 22, 25

Aço N2711 8, 13

Algoritmos 128, 129, 131

Aplicações Matemáticas 128

Atmosfera de Corte 19, 151, 152, 154, 155, 156, 157

### B

Biodegradável 49, 52

Biomodelos 71, 73

Blindagem 31, 32, 33, 34, 35, 36, 42, 45, 46

### C

Caracterização Mecânica 47, 48

Carbeto de Silício 15, 16, 17, 18, 19, 20

Circuitos Shunt Piezelétricos 81

Coefficiente Convectivo 104, 106, 110

Coletor Solar 117, 126

Controle Ótimo 91, 128, 129, 130, 135, 138

Controle Passivo 81, 82, 86, 91

Correlações 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114

### D

Distância de Aplicação 22, 24, 25, 29

### E

Elementos Finitos 71, 74, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 92

Embalagens 48, 52, 96

Energia Renovável 94, 101

Escoamento Multifásico 104

### G

Gás Liquefeito de Petróleo 94, 96, 102, 103

Gás Natural Veicular 94, 95, 97

Grupo Motor-Gerador 93, 94, 95, 98, 99, 100, 102

## **I**

Imagem Médica 71

Inconel 718 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Integridade da Superfície 8

## **J**

Jateamento 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

## **L**

Laminados de Aço 31, 32, 36, 39

## **M**

Materiais Absorvedores 60, 61, 70

Material Compósito 81, 82, 85, 86

Modelagem 71, 72, 76, 79, 81, 82, 83, 84, 86, 92, 104, 138, 141, 143

Modelo Teórico 1, 2

Módulos Balísticos 31

## **N**

Nanopartículas 61

## **P**

Padrão Intermitente 104, 105, 107, 108

Penetração de Trabalho 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Potência Elétrica 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Propagação de Incertezas 81

Próteses 71, 73

## **R**

Radiação Térmica 117, 118, 119, 122, 123, 126

Refletividade 60, 61, 122, 123, 124, 126

Retificação 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 28, 29, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

Rugosidade 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 25, 27, 28, 29, 30, 151

## **S**

Superfícies Seletivas 117, 118, 127

## **T**

Teodolito 139, 140, 141, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150

Transferência de Calor 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 113, 115, 118, 126, 127

## **V**

Velocidade da Peça 2, 3, 4, 5, 8, 10, 12, 17, 18, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](http://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

 **Atena**  
Editora

Ano 2020

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

# A Aplicação do Conhecimento Científico na Engenharia Mecânica

# 2

 **Atena**  
Editora  
Ano 2020