

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

# Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<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  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
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  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> 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**

# CAPÍTULO 1

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

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 05/01/2021

### **Cláudio Beserra Martins Júnior**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/4414919476503670>

### **Ana Larissa Soares Cruz**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/8948387799925330>

### **Ermeson David dos Santos Silva**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/5128932687931370>

### **Nicolas Moreira de Carvalho Gomes**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/4699827186889924>

### **Vinicius Pereira Bacurau**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/3702118357708912>

### **Maria das Dores Bandeira Barroso**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/0008202075715281>

### **Rosilda Benício de Souza**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/0530533098887803>

### **Edvânia Trajano Teófilo**

Universidade Federal do Cariri (UFCA), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)  
Juazeiro do Norte – CE  
<http://lattes.cnpq.br/8243151291427201>

**RESUMO:** A indústria de petróleo e gás natural passa por muitos desafios, dentre eles o transporte destes materiais através de dutos, que são submetidos a ambientes hostis, trazendo riscos ambientais e econômicos. Os aços ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga) de norma API 5L, são os mais empregados no setor. No Brasil, o mais utilizado é o X70, mas um aço de maior resistência, o API 5L X80, obtido pelo processo termomecânico de laminação controlada (TMCR) já vem sendo produzido nacionalmente, porém com qualidade ainda inferior ao que é fabricado no exterior. O presente estudo objetiva traçar o perfil de microdureza e caracterizar microestruturalmente uma amostra de aço API 5L X80 nacional, além de verificar se o mesmo atende à normatização de composição química e limite de escoamento. Os corpos de prova para o ensaio de tração seguiram a norma ASTM 8M. Amostras da chapa foram retiradas na direção transversal de laminação e para a caracterização microestrutural realizou-se o embutimento a quente, seguido por lixamento, polimento e ataque químico com Nital 3%. Para a obtenção



do valor de microdureza Vickers, 60 medidas foram realizadas. Verificou-se que a composição está dentro dos limites normatizados, ultrapassando apenas 0,054% no teor de Mn, e que o limite de escoamento foi superior ao valor mínimo para a categoria do aço estudado que é de 80 ksi. As imagens obtidas por microscopia óptica sugerem uma microestrutura composta por ferrita, perlita e carbonetos, estando estes últimos dispersos de forma heterogênea ao longo da amostra. Quanto ao perfil de microdureza, verificou-se que os valores de dureza próximos às bordas e no centro foram maiores do que em regiões intermediárias. Este fato está em consonância com a maior proporção de carbonetos observado no centro da amostra e um maior encruamento proporcionado nas proximidades das bordas de laminação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aços ARBL, microestrutura, API 5L, microdureza Vickers.

## MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION AND MICROHARDNESS PROFILE OF API 5L X80 STEEL OBTAINED BY THE TMCR PROCESS

**ABSTRACT:** The oil and natural gas industry face many challenges, among them the transport of such materials through pipes, which undergo hostile environments, generating environmental and economic risks. The HSLA steel (High Strength Low Alloy) of class API 5L is the most used in the sector. In Brazil, the most utilized class is X70, but an even more resistant steel, the API 5L X80, obtained through a thermomechanical-controlled rolling process (TMCR) is already being produced nationally, however, its quality is still inferior to the ones produced abroad. This study aims to trace the microhardness profile of a sample of national steel class API 5L X80 and characterize it microstructurally, as well as check if it meets the standardization of chemical composition and yield limit. The specimens for the tensile test followed the ASTM 8M standard. Samples of the sheet were taken in the transversal rolling direction and for the microstructural characterization, hot embedding was carried out, followed by sanding, polishing and chemical attack with 3% Nital. In order to obtain the microhardness Vickers value, 60 measurements were taken. It was found that the composition is within the standardized limits, exceeding only by 0.054% in the Mn content, and that the yield limit was higher than the minimum value for the studied steel category, which is 80 ksi. The images obtained through optical microscopy suggest a microstructure composed of ferrite, perlite and carbides, the latter being found dispersed heterogeneously throughout the sample. As for the microhardness profile, it was found that the hardness values close to the edges and in the center were higher than in the intermediate regions. This fact is in line with the higher proportion of carbides observed in the center of the sample and the higher hardening found near the rolling edges.

**KEYWORDS:** HSLA steels, microstructure, API 5L, Vickers microhardness.

## 1 | INTRODUÇÃO

Um dos desafios no que diz respeito à extração de petróleo consiste em seu transporte. Visando evitar prejuízos econômicos e ambientais, inúmeros estudos são feitos buscando por materiais com propriedades cada vez melhores e de menor custo, para aumentar a confiabilidade e segurança operacional do transporte por dutos (SOEIRO JUNIOR *et al.*, 2013). Dentre os aços desenvolvidos nesse sentido está o API 5L X80, do

tipo ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga) especificados pelo *American Petroleum Institute* (API) através da norma API 5L (CRUZ *et al.*, 2012), que são aços de baixo carbono, mas que apresentam resistência mecânica superior devido a presença de outros elementos de liga (CALLISTER *et al.*, 2012) e a tratamentos termomecânicos. Os elementos de liga, mesmo em baixa quantidade, conseguem proporcionar um aumento significativo nas propriedades mecânicas, atingindo os valores requeridos pela norma (MONTE, I. R, 2013), sendo que o aumento do teor pode, geralmente, prejudicar a soldabilidade.

O aço API 5L X80 pode ser obtido pelo processo termomecânico de laminação controlada (do inglês *thermomechanical controlled Rolling* - TMCR), que consiste em inicialmente deformar os grãos de austenita do material previamente aquecido em uma temperatura acima da temperatura de recristalização, o que faz com que a estrutura que está sendo deformada origine grãos finos. Em seguida, o metal passa por outro passe de laminação, dessa vez abaixo da temperatura de recristalização, assim, os grãos que vão sendo deformados e se alongando durante a laminação não cristalizam. Durante o resfriamento, essa estrutura de grãos de austenita finos e alongados na direção de laminação vão se transformar em ferrita e perlita, obtendo melhorias nas propriedades de resistência e tenacidade (SILVA, M. C, 2009).

Outra vantagem que pode ser alcançada com a utilização do X80 é a redução da espessura do duto, e conseqüente redução de peso, uma vez que aços com uma resistência superior podem suportar as mesmas pressões internas com uma menor espessura de parede, o que reduz também os custos com transporte e montagem das peças, sem alterar a quantidade de fluido transportada (PEDROSA *et al.*, 2013).

No Brasil ainda não foi implementada a mesma tecnologia de fabricação do aço X80 fabricado no exterior, e para obter o mesmo grau de resistência é utilizado um teor maior de elementos de liga (SOEIRO JUNIOR *et al.*, 2013). Portanto, torna-se bastante importante o estudo do desenvolvimento deste aço no país, assim como estudos para avaliar a qualidade do aço fabricado, no que diz respeito à microestrutura, composição química e propriedades mecânicas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Como material de estudo utilizou-se uma chapa fornecida pela Usiminas de um aço API 5L X80 obtido pelo processo TMCR, cuja composição química está apresentada na Tabela 1. Os valores na tabela representam a porcentagem em massa de cada componente.

C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	V	Ti	Cr	Mo	Cu	B	Ni
0,041	1,654	0,192	0,016	0,005	0,032	0,063	0,031	0,013	0,142	0,212	0,024	0,003	0,023

Tabela 1 - Composição química do aço API 5L X80 estudado. (BRONZEADO NETO, 2018)

Para a determinação de propriedades mecânicas corpos de prova foram usinados da chapa de aço, conforme especificações da norma ASTM 8M e ensaiados sob tração em máquina servo-hidráulica MTS com auxílio de extensômetro.

Para a caracterização microestrutural, uma pequena amostra da chapa de aço foi cortada na direção transversal de laminação, através de uma máquina CUT OFF Arotec COR-40. Em seguida, foi realizado embutimento a quente com baquelite e a peça passou por um lixamento manual com lixas em granulometrias de 80, 120, 240, 360, 500, 600, 800, 1000 e 1200, alternando-se em 90° o sentido da peça. Posteriormente, a peça foi polida em poltriz automática Arotec Aropol 2V, com suspensão de partículas de alumina com granulometria de 1 µm, até ser obtido uma superfície plana e espelhada. Por fim, a amostra foi atacada quimicamente com Nital 3%, pelo método de esfregação com chumaço de algodão, sendo sequencialmente lavada em água corrente e álcool etílico 97%. Sua superfície foi seca com uma corrente de ar quente forçada. Em seguida, a peça foi levada ao microscópio óptico OLYMPUS BX51M, onde foram feitas imagens com aumentos de 50x e 100x da microestrutura do metal.

Para traçar o perfil de microdureza, foi utilizada uma peça embutida de forma similar à utilizada na caracterização microestrutural. O ensaio foi realizado utilizando o microdurômetro digital FM-700 Future Tech para a obtenção dos valores de microdureza Vickers. Para isso, foi aplicado uma carga de 500 gf, no tempo de 15 segundos, com distância entre as endentações de pelo menos 1 mm na direção longitudinal de laminação e de 0,5 mm na direção transversal de laminação. Após cada ensaio, as duas diagonais eram medidas com o auxílio de microscópio digital acoplado ao equipamento, o valor da dureza, na escala HV (Hardness Vickers), era dado diretamente na tela digital do equipamento.

Foram realizadas 60 medidas de microdureza na superfície da amostra, sendo esta dividida em 5 regiões distanciadas transversalmente ao sentido de laminação, conforme ilustrado na Figura 1: PBS (próximo à borda superior de laminação); RIS (região intermediária superior); C (centro); RII (região intermediária inferior); PBI (próximo à borda inferior de laminação). Em cada uma dessas regiões foram realizadas 12 medidas do valor de dureza. Com os valores obtidos, foi plotado um boxplot a fim de fazer uma análise exploratória dos dados. E para analisar comparativamente os resultados, testes de comparação de médias, como o **teste t** e a ANOVA foram aplicados.

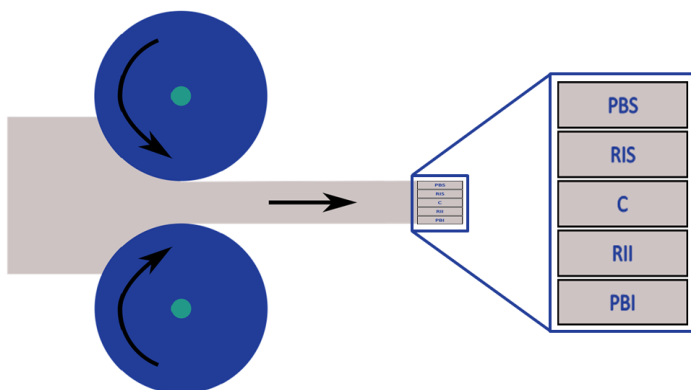


Figura 1 - Ilustração das regiões delimitadas para ensaios de microdureza.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Composição química

Na Tabela 2 pode-se comparar a composição dos aços API 5L X80 normatizado e o analisado no presente estudo. Observa-se que o aço trabalhado apresenta composição dentro dos limites normatizados, exceto quanto ao teor de Mn, ultrapassando 0,054% do valor indicado pela norma. Como o controle de composição não é 100% preciso, supõe-se que o aço possa ter sido fabricado próximo ao limite deste elemento de liga, para compensar a resistência que é menor no aço API 5L X80 fabricado nacionalmente pelo processo TMCR em comparação com o fabricado no exterior pelo processo termomecânico de laminação controlada com resfriamento acelerado (*thermomechanical controlled process*– TMCP). Atualmente, o Brasil ainda não consegue obter o X80 mais robusto fabricado no exterior pelo processo TMCP, de estrutura bainítica, mas obtém um aço de estrutura perlítica em que para alcançar o nível de resistência especificado pela norma, são adicionados maiores teores de elementos de liga.

Vale salientar que não existe uma única composição para os aços X80. Ou seja, com diferentes composições químicas, pode-se obter o mesmo grau de resistência X80. Porém, as composições mais estudadas atualmente para os aços API 5L X80 são ligados principalmente ao nióbio e titânio, com valores menores que 0,1%p de Carbono.

Elementos de Liga	C	Mn	P	S	V +Nb + Ti
<b>X80 estudado</b>	0,041%	1,654%	0,016%	0,005%	0,107%
<b>X80 normatizado</b>	≤ 0,12%	≤ 1,60%	≤ 0,025%	≤ 0,015%	≤ 0,15%

Tabela 2 - Comparação entre aço X80 estudado e normatizado.

### 3.2 Ensaio de tração

Na Figura 2 está ilustrada a curva tensão x deformação obtida no ensaio de tração dos corpos de prova. Como pode ser observado, a amostra estudada ultrapassa o limite de escoamento mínimo requerido para o aço API 5L X80, que é 80 ksi (aproximadamente 550 MPa). Além disso, nota-se que o aço possui boa tenacidade, propriedade essencial para a aplicação a qual eles serão destinados. A Tabela 3 ilustra os valores médios de limite de escoamento (LE) e limite de resistência (LR) das amostras, bem como a razão entre os dois valores (LE/LR). Sobre a razão LE/LR, Palmer (2008) afirma que seu valor não pode ser muito próximo de 1, uma vez que isso indicaria a redução da capacidade do material em deformar-se plasticamente. Assim, o aço estudado apresenta uma razão LE/LR satisfatória para a aplicação a desejada.

Propriedades	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR
Valor médio	612 ± 7,778	719 ± 7,071	0,85 ± 0,002

Tabela 3 - Valores médios de limite de escoamento (LE), limite de resistência (LR) e razão entre limite de escoamento e limite de resistência (LE/LR) das amostras de aço API 5L X80.

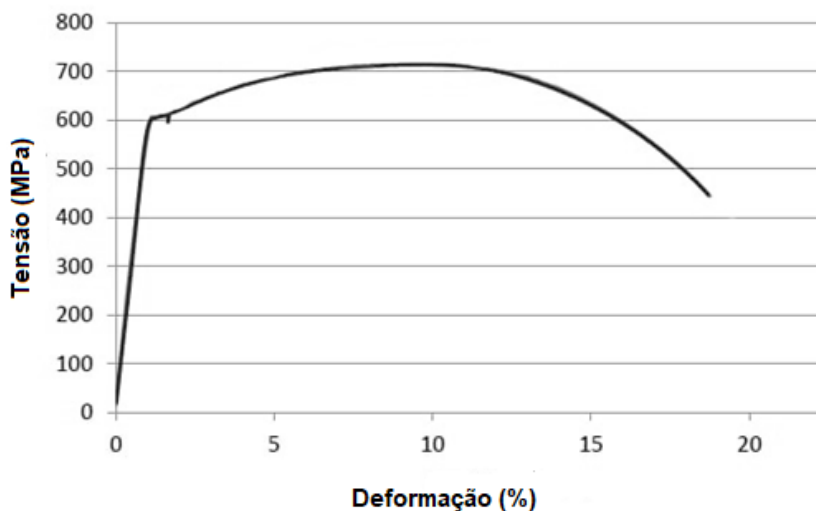


Figura 2 - Curva tensão x deformação de amostras de aço API 5L X80.

### 3.3 Caracterização microestrutural

Analisando a microestrutura do material disposta na Figura 3, pode-se observar que como esperado, por conta do processamento mecânico ao qual o aço foi submetido, a microestrutura é composta por grãos achatados e orientados na direção de laminação.

Pode-se supor que o aço apresenta regiões de ferrita (regiões mais claras), regiões de ferrita e perlita (regiões um pouco escurecidas) e regiões de carbonetos de elementos de liga como Nb, Ti, V (regiões totalmente escurecidas). Pela micrografia, não é possível observar as lamelas alternadas características da estrutura perlítica. Essa suposição foi feita por conta do processamento termomecânico que induz a formação dessa microestrutura. Porém, a identificação não pode ser feita por conta do baixo teor de carbono na amostra, que pode ter originado lamelas tão pequenas que não foram detectadas com o aumento do alcance da microscopia utilizada.

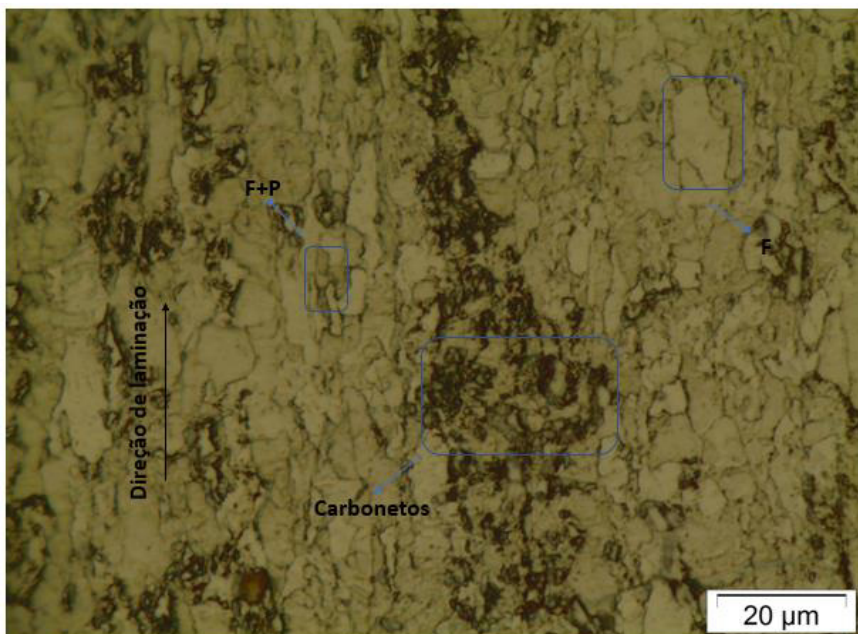


Figura 3 - Microscopia do aço X80 estudado. Aumento de 100x. Reagente Nital 3%

### 3.4 Perfil de microdureza

Os valores obtidos no ensaio de microdureza *Vickers* para cada região delimitada para as amostras estão exibidos no gráfico da Figura 4. No processo de laminação, o esforço mecânico sofrido pela peça vai sendo reduzido da superfície para o centro, assim, era de se esperar que o valor de dureza acompanhasse essa mesma lógica, uma vez que quanto maior o esforço sofrido, maior a deformação sofrida pela região e, conseqüentemente, maior o endurecimento por encruamento. Analisando os valores médios das medidas apresentados no gráfico, inicialmente, ao se afastar da superfície (regiões PBS e PBI), de fato, houve uma redução de dureza (regiões RIS e RII). Porém, ao se alcançar regiões

próximas do centro da amostra (Região C), o valor de dureza sofreu um efeito contrário. Na tentativa de tentar elucidar essa discrepância, foram feitas análises estatísticas dos dados obtidos, como também análises microscópicas com menor aumento, para observar a microestrutura em uma região próxima e afastada do centro da amostra, as quais serão mostradas adiante.

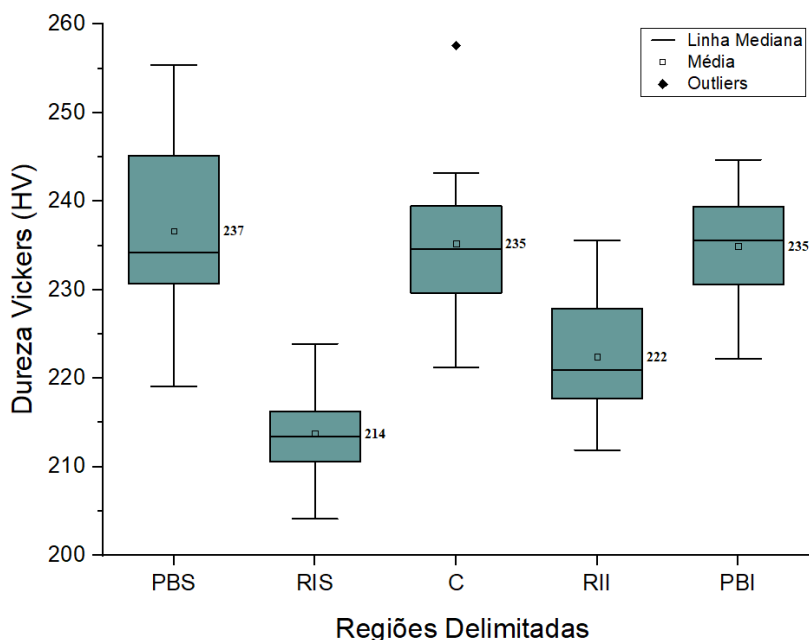


Figura 4 - Perfil de microdureza do aço API 5L X80 por regiões delimitadas: PBS (próximo à borda superior de laminação); RIS (região intermediária superior); C (centro); RII (região intermediária inferior) e PBI (próximo à borda inferior de laminação).

Analisando estatisticamente, ao observar o boxplot da Figura 4, pode-se notar que a região PBS apresentou uma maior quantidade de medidas (66,7%) na faixa de 215 a 240HV em comparação às outras regiões, enquanto a RIS exibiu maior número de medidas (75%) entre 200 e 215HV. As áreas RII e PBI apresentaram maior acúmulo de medidas nas faixas de 210 a 225 (com 66,7%) e 220 a 240 (com 83,3%), respectivamente. Na região central (C), 50% das medidas se deram em torno de 230 a 235HV, sem grandes variações. No entanto, vale ressaltar que tal região apresentou um ponto outlier, ou seja, um dado distante dos outros observados. Esse valor díspar pode ser justificado pela sua medição em uma região com maior saturação dos carbonetos, resultado possível por variações de processamento que resultam em um material não homogêneo.

As durezas medianas para as regiões PBS, RIS, C, RII e PBI são dadas como

234,2HV, 213,5HV, 234,6HV, 220,9HV e 235,6HV, respectivamente. A mediana é o valor mais representativo dos dados em estudo, uma vez que não apresenta grande influência de valores que se distanciam da realidade do conjunto, como ocorre na média, levando a conclusões distorcidas. As medições destacadas indicam como mais frágeis, em função da elevada dureza expressa pelo conjunto, as regiões PBS, C e PBI.

Em concordância com os dados supracitados, podemos constatar que a maioria das regiões apresenta dados assimétricos, sendo o conjunto das regiões PBI e C, assimétricos para baixo, ou seja, as medições destas são mais dispersas abaixo da mediana. Fato que não acontece nas regiões PBS e RII que tem as medições mais dispersas acima da mediana. A região RIS apresenta um conjunto de dados simétricos.

As distâncias interquartílicas são de 14.45, 5.65, 9.85, 10.15 e 8.8 para as regiões PBS, RIS, C, RII e PBI, respectivamente. Todos os dados apresentam considerável dispersão, exibindo a região PBS a maior delas e a região RIS, a menor. Tal dispersão de dados é explicada pela não uniformidade de composição na peça, resultando em regiões mais ricas de carbono e em outras mais pobres, o que influencia diretamente em seus valores de dureza.

Ainda acerca do boxplot, pode-se observar certa similaridade entre algumas regiões quanto à dureza. Com o intuito de verificar se há, em média, diferença estatisticamente significativa para as diferentes durezas, foi empregado o teste ANOVA de comparação de médias. Antes de aplicar a ANOVA, devemos saber se os dados seguem uma distribuição normal. Para isso, foi aplicado o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk*, verificando que de fato os dados de todas as regiões seguem uma distribuição normal. Adotando um nível de significância de 5%, e com  $p\text{-valor} = 6,08237e^{-10}$ , a hipótese de igualdade das médias é rejeitada.

No entanto, algumas regiões apresentam médias semelhantes. Para uma maior compreensão dessas, comparou-se as regiões, duas a duas, utilizando o *teste t*, com resultados expressos na Tabela 4.

<i>p-valor</i>	PBS	RIS	C	RII	PBI
<b>PBS</b>	-	$3,3162e^{-9}$	<b>0,6578</b>	$5,4722e^{-5}$	<b>0,60364</b>
<b>RIS</b>		-	$1,7763e^{-8}$	0,0102	$2,3708e^{-8}$
<b>C</b>			-	$2,4025e^{-4}$	<b>0,9391</b>
<b>RII</b>				-	$3,0781e^{-4}$
<b>PBI</b>					-

Tabela 4 - Tabela de *teste t* para as regiões delimitadas na amostra de aço API 5L X80.



Para nível de significância de 5%, existe diferença significativa para todas as regiões, exceto PBS x C, PBS x PBI e C x PBI. As regiões PBS e PBI de fato devem apresentar similaridade, uma vez que ambas foram sujeitas a deformações maiores pela maior proximidade dos cilindros de laminação. A região central é comparada estatisticamente com as regiões superficiais (PBS e PBI) apresentando também similaridade, o que não era esperado. Nesse contexto, fez-se necessário realizar novas análises microscópicas, com menor aumento, para observar a microestrutura em uma região próxima e afastada do centro da amostra, em busca de diferenças para explicar este fato. Os resultados são mostrados nas Figuras 5 e 6.

Analisando as Figuras 5 e 6 pode-se notar que próximo ao centro da amostra há uma maior concentração de carbonetos, o que é apontado como a causa do aumento de dureza nesta região. A mesma situação foi também abordada por (SANT'ANNA, 2006) e (OGATA, 2009), que em seus trabalhos observaram na região central da chapa, uma linha de segregação. A aglomeração de carbonetos pode ser prejudicial à tenacidade do material, uma vez que estes tendem a facilitar a evolução de uma eventual trinca.

O que pode ter ocasionado essa concentração maior na região central é o fato de que o resfriamento é mais lento no centro do que próximo às superfícies, o que pode ter levado essa região a experimentar um maior intervalo de tempo em temperaturas que favorecessem a precipitação desses carbonetos. Pinto(2011) indica que essa segregação, surge como um problema de qualidade associado ao processo de fundição e solidificação da chapa. Segundo Bhadeshia (1998), a linha de segregação central em aços microligados pode ter relação direta a variação de teor de Mn, uma vez que a ferrita se forma primeiro em regiões empobrecidas desse elemento, resultando em uma maior concentração de carbono na região Austenítica rica em manganês. Outra teoria é que durante o processo de laminação, esses carbonetos foram sendo “empurrados” para o centro da amostra através dos esforços aplicados pelos cilindros laminadores.

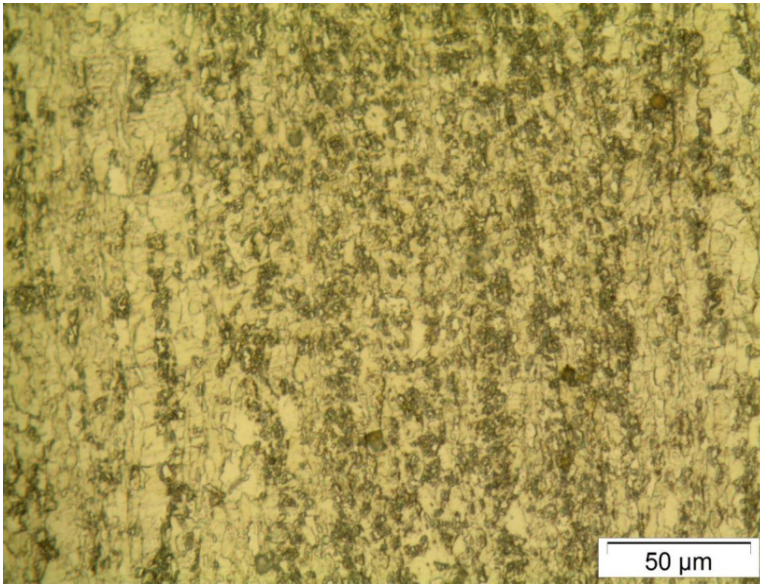


Figura 5 - Imagem microscópica próxima ao centro da amostra. Aumento de 50x.

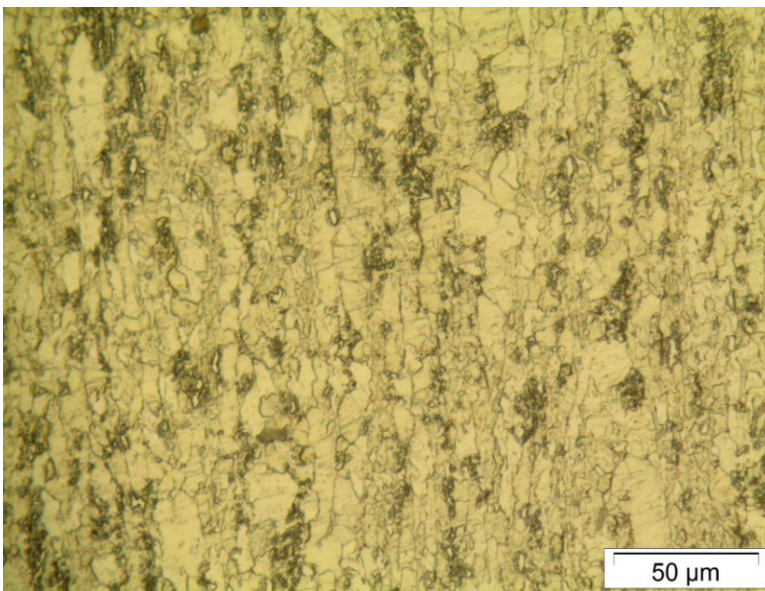


Figura 6 - Imagem microscópica afastada do centro da amostra. Aumento de 50x.

#### 4 | CONCLUSÕES

A análise química do aço API 5L X80 estudado indicou que o elemento manganês ultrapassou um pouco o teor máximo esperado. Os demais componentes da liga atenderam às recomendações da norma regulamentadora. O ensaio mecânico comprovou que o aço de

fato pode ser enquadrado na categoria X80, por apresentar limite de escoamento maior do que 80 Ksi. Além disso, o aço apresentou uma razão LE/LR considerada satisfatória. Com a análise da microestrutura, foi possível observar a presença de grãos achatados, o que é esperado para aços laminados, como também supor que o aço apresenta a microestrutura composta por vários carbonetos dispersos em uma matriz de ferrita e perlita, condizente com o processo TMCR ao qual ele foi submetido. O perfil de dureza mostrou que o valor de dureza próximo às bordas e no centro é maior do que em regiões intermediárias. Este fato está em consonância com a maior proporção de carbonetos no centro da amostra e maior encruamento próximo às bordas. A alta aglomeração de carbonetos na região central da amostra pode resultar na diminuição das propriedades de tenacidade do aço, uma vez que há possibilidade de atuarem como um caminho facilitador de propagação para eventuais trincas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pela colaboração na realização dos ensaios.

## REFERÊNCIAS

ASTM E 8M-04, **Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]**, U. S. A, 2004.

BHADESHIA, H. K. D. H. **Alternatives to the Ferrite-Pearlite Microstructures**. Materials Science Forum, Vols 284-286, p. 39-50, 1998.

BRONZEADO NETO, E. **Avaliação de Tenacidade à Fratura de Juntas Soldadas do Aço API 5L X80 Utilizando Processos Manual e Robotizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2018.

CALLISTER JR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 8 Ed, 2012.

CRUZ, C. M.; MORILLA, J. C. **Aços de Alta Resistência e Baixa Liga em Oleodutos e Gasodutos**. Science and Technology, Santa Cecília, v. 1, n. 1, p. 20-24, 2012.

MONTE, I. R. **Caracterização Microestrutural do Aço API 5L X65 Soldado por Feixe de Elétrons com Diferentes Aportes Térmicos**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de pós-graduação em Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo. Lorena, 2013.

MOOJEN, R. G.; MACHADO, I. G.; MAZZAFERO, J. A. E.; GONZALEZ, A. R. **Efeitos da Taxa de Resfriamento na Soldagem de Aço API 5L-X80**. Soldagem & Inspeção, v. 20, n. 1, p. 68-80, 2015.

OGATA, P. H., **Caracterização microestrutural do aço para tubo API 5L - X65 em diferentes regiões da chapa como laminada e após austenitização e resfriamento sob diversas taxa de resfriamento**. 2009. 122p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica - USP, São Paulo, 2009.

PALMER, A. C.; KING, R. A. **Subsea Pipeline Engineering**. PennWell Books, 2 Ed, 2008.

PEDROSA, I. R. V.; CASTRO, R. S.; YADAVA, Y. P.; FERREIRA, R. A. S. **Study of Phase Transformation in API 5L X80 Steel in Order to Increase its Fracture Toughness**. Materials Research, v. 16, n. 2, p. 489-496, 2013.

PINTO, F.C. **Caracterização mecânica e microestrutural do aço API 5L - X65 soldado por feixe de elétrons**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de Lorena, EEL-USP, 2011. p.121.

SANT'ANNA, P. C., **Influência de tratamentos intercríticos na microestrutura e propriedades mecânicas do aço API 5L-X65**. 2006. 147p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2006.

SILVA, M. C. **Determinação experimental da tenacidade à fratura da zona termicamente afetada de junta soldada de aço API 5L X80**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SOEIRO JUNIOR, J. C.; ROCHA, D. B.; BRANDI, S. D. **Uma Breve Revisão Histórica do Desenvolvimento da Soldagem dos Aços API para Tubulações**. Soldagem & Inspeção, v. 18, n. 2, p. 176-195, 2013.

## 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)