

# 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 Alfnas

### **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. Liliansi 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**

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

Data de aceite: 01/04/2021

Data de submissão: 03/01/2021

### **Idalina Vieira Aoki**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
São Paulo/SP  
<http://lattes.cnpq.br/6202929118529990>

### **Fernando Cotting**

Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte/MG  
<http://lattes.cnpq.br/3373558974232568>

### **Paulo Cezar Maziero Tiano**

NOVAS TENDÊNCIAS Promoções e treinamento EIRELI  
São Paulo/SP  
<http://lattes.cnpq.br/4161942203950042>

**RESUMO:** As resinas acrílicas representam um dos polímeros mais utilizados em revestimentos de proteção de manutenção industrial. Os principais tipos de revestimento que utilizam a tecnologia de acrílico são poliuretanos acrílicos hidroxilados com dois componentes, que são frequentemente baseados em polióis acrílicos com excelente durabilidade exterior e tintas decorativas látex à base de água acrílico, que são frequentemente usadas pela facilidade de aplicação e por serem monocomponente. Esse artigo foca em acrílicos específicos e especiais com polímeros tipo auto-reticulante, em um sistema monocomponente, aplicado direto ao metal, avaliando suas propriedades de proteção

contra a corrosão para estruturas de aço, expostas sob condições atmosféricas agressivas. As avaliações das propriedades anticorrosivas foram realizadas seguindo a norma ISO 12944-6 com resultados de 1440 h em teste de névoa salina neutra (ISO 7253), 720h no teste de câmara úmida (ISO 6270) e 4200h no teste cíclico (névoa salina, UVB e temperatura -18°C) ISO 20340 e seguindo a norma ISO 16773 para a caracterização do comportamento à corrosão com a técnica de espectroscopia de impedância eletroquímica. Os resultados mostraram que com apenas uma única camada da proposta tinta à base de água acrílica DTM funciona como um sistema de pintura recomendado para ser aplicado no substrato de aço, apresentando uma elevada durabilidade em ambientes C4, C5-M e C5-I, o que indica que se pode substituir um sistema composto de primer de epóxi clássico e um acabamento PU com uma menor espessura e apenas 50 g/L de VOC.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tintas à base água, ambientes agressivos C4 e C5, revestimento acrílico.

### STEEL STRUCTURES CORROSION PROTECTION IN THE INDUSTRIAL AND MARINE ENVIRONMENT BY WATERBORNE ACRYLICS DTM (DIRECT TO METAL) PAINT SYSTEM

**ABSTRACT:** Acrylic resins represent one of the most used polymers in industrial maintenance protection coatings. The main types of coatings that use acrylic technology are two-component hydroxylated acrylic polyurethanes, which are often based on acrylic polyols with excellent

exterior durability and decorative acrylic water-based latex paints, which are often used for ease of application and be single component. This article focuses on specific and special acrylics with self-crosslinking polymers in a single component and DTM system and describes their corrosion protection properties for steel structures in aggressive atmospheric conditions. The anti-corrosion properties evaluations were carried out following the ISO 12944-6 standard with results of 1440h in the neutral salt spray test (ISO 7253), 720h in the wet chamber test (ISO 6270) and 4200h in the cyclic test (salt spray, UVB and freezer -18°C) ISO 20340 and following the ISO 16773 standard for the characterization of the corrosion behavior with the electrochemical impedance spectroscopy technique. The results showed that just as a single layer of this proposed ecological DTM acrylic water-based paint works as a paint system recommended to be applied on steel substrate with high durability for C4, C5-M and C5-I equivalent categories atmospheric corrosivity (ISO 12944-2) which indicates that a system consisting of a classic epoxy primer and a PU finish with a lower thickness and only 50 g/L VOC can be replaced.

**KEYWORDS:** Water-based coatings, aggressive environments C4 and C5, acrylic coating.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os revestimentos à base de resinas acrílicas são uma categoria de produtos que abrange uma ampla variedade de aplicações e requisitos de desempenho. A primeira tinta decorativa tipo látex acrílico foi desenvolvida em 1953. Desde então, os acrílicos têm alcançado uma posição dominante no mercado de revestimentos arquitetônicos, onde eles oferecem benefícios como excelente retenção de brilho, cor e adesão a multi-substratos em revestimentos externos, e boa lavabilidade, resistência ao *blocking* e propriedades de aplicação em bricolagem em revestimentos internos. Algumas pessoas podem se surpreender, pois os acrílicos são utilizados também para manutenção industrial em substratos metálicos, com substratos de concreto cujo desenvolvimento se deu pela primeira vez na década de 1960 (Croll, 2007). Durante os anos 1970, as inovações nos polímeros e formulações de aditivos (por exemplo, pigmentos anticorrosivos) levou a uma melhor compreensão de como os revestimentos de acrílico à base de água podem ser mais bem formulados para evitar a corrosão de metais ferrosos promovendo assim à sua melhoria contínua (Gourke, 1977). Uma maior aceitação na indústria de tintas dos acrílicos à base de água ocorreu na década de 1980, devido à introdução de novos produtos com maior resistência à corrosão, bem como a introdução de acabamentos acrílicos aplicados direto ao metal (DTM), que foram utilizados como camadas de acabamento e anticorrosivas (Flynn, 1989). Grande parte do crescimento das tintas acrílicas à base de água tem sido à custa de sistemas base solvente substituindo tintas alquídicas, proporcionando ao usuário final uma melhora substancial à saúde humana e na segurança do meio ambiente. Hoje, acrílicos são muito utilizados em revestimentos de proteção para estruturas de aço e concreto, normalmente em ambientes de média agressividade. As tintas acrílicas representam de 15 a 20% em volume de revestimentos consumidos pelo setor de manutenção industrial

nos Estados Unidos da América (“Global Paint & Coatings Industry Market Analysis”, 2011) e são usadas em uma variedade de aplicações, tais como acabamento industrial geral do metal, madeira e substratos plásticos, tintas de demarcação viária e revestimentos de impermeabilização (Procopio, 2013).

Fabricantes de tintas e seus fornecedores de matérias-primas têm trabalhado frequentemente no desenvolvimento de tecnologias de revestimentos que oferecem propriedades múltiplas de desempenho que podem parecer ser difícil de realizar em um único revestimento. Atingir estas propriedades contrastantes pode ser ainda mais complicado em um revestimento à base de água em uma tinta mono componente termoplástica tal como um látex acrílico, em que a reticulação polimérica não está disponível para constituir propriedades tais como a resistência química e durabilidade exterior. Novos estudos com polímeros acrílicos e acrilato e derivações com cloreto de vinilideno (Fu *et al.*, 2015) demonstram excelente resistência no salt spray em até 800 horas, mas após esse tempo de envelhecimento a manutenção da aderência no sistema de DTM é muito importante para manter a integridade do metal. A dicotomia entre o baixo teor de compostos orgânicos voláteis (VOC) e boas propriedades de dureza é outro exemplo que está sendo ativamente desenvolvido em ambos os mercados de revestimentos arquitetônicos e industriais e é um alvo particularmente difícil para polímeros acrílico à base de água (Clamen *et al.*, 2011).

Para proteção anticorrosiva em ambientes extremamente agressivos, como sistemas de pintura industriais e marítimos, usam-se primer ricos em zinco, primer epóxi como revestimento intermediário e como proteção de barreira e acabamentos poliuretanos para terminar o sistema, que atualmente é a melhor tecnologia ainda em uso recomendada para aplicações em ambientes muito agressivos (Almeida *et al.*, 2006; Athawale e Nimbalkar, 2011; Murphy, 1995). Revestimentos ecológicos foram testados como tinta à base de água epóxi, tintas com alto teor de sólidos e outros sistemas com os resultados bons para ambientes C4 e C5-M (Almeida *et al.*, 2006).

Assim, este trabalho tem como objetivo estudar novas possibilidades de revestimentos acrílicos à base de água com o conceito DTM, avaliando suas propriedades de proteção contra corrosão.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A tinta foi aplicada com pistola de aplicação por pulverização sobre os corpos de prova de aço carbono jateado. Cada corpo de prova apresentou camada seca homogênea e aparência livre de escorrimentos, sujeiras, crateras, pinholes, empolamentos e over spray. A espessura da película seca foi em torno de 200  $\mu\text{m}$ , medidos de acordo com a norma ISO 2808 (International Organization for Standardization, 2007a) e não excedeu em 20% o valor especificado. As condições de secagem dos corpos de prova pintados foram de quatro semanas em atmosfera natural ( $23 \pm 2$ )  $^{\circ}\text{C}$  / ( $50 \pm 5$ ) % de umidade relativa do

ar, conforme definido na norma ISO 554 (International Organization for Standardization, 1976), antes do teste de envelhecimento. Os painéis foram cortados nas dimensões de 150 mm x 70 mm para ensaio UV seguindo a ASTM G154 (American Society for Testing and Materials, 2000) e para outros testes nas dimensões de 150 mm x 100 mm. Sua superfície foi preparada com jateamento abrasivo grau SA 2 ½ conforme definido na ISO 8501-1 (International Organization for Standardization, 1988) até perfil de rugosidade 50 a 70  $\mu\text{m}$ . Foram utilizados três corpos de prova (triplicata) para cada condição de teste.

## 2.1 Métodos de teste para desempenho em laboratório

A coleção de normas - ISO 12944 - destina-se a dar informações sob proteção de estruturas metálica com pinturas, composta de 8 normas. Elas são escritas para profissionais que têm algum conhecimento técnico. Supõe-se também que o usuário das normas ISO 12944 está familiarizado com outras normas internacionais pertinentes, em particular aquelas que lidam com a preparação da superfície, como também com os regulamentos locais e relevantes. A parte ISO 12944-6 (International Organization for Standardization, 2018) especifica métodos de ensaio de laboratório e condições de ensaio para a avaliação dos sistemas de pintura para a proteção contra a corrosão de estruturas metálicas. Os resultados do teste devem ser considerados como uma ajuda na escolha de sistemas de tintas adequadas e não como informação exata para determinar a durabilidade. Alguns testes da norma ISO 12944-6 não são aplicáveis a muitos sistemas de pintura à base de água. No entanto, alguns sistemas de pintura à base de água são passíveis de teste e de avaliação, usando os procedimentos aqui descritos, e os seus resultados podem ser levados em conta. Para este projeto o objetivo é caracterizar essa tinta DTM acrílicas à base de água para a categoria de corrosividade C4, C5-I e C5-M e faixa de durabilidade alta (HIGH), conforme definido na norma ISO 12944-2 (International Organization for Standardization, 2017a). Os testes e a duração dos ensaios apresentados na Figura 1 são destinados para sistemas de tintas aplicadas em substratos de aço. Para sistemas de tintas destinadas à categoria de corrosividade C5-I da ISO 2812-1 (International Organization for Standardization, 2017b) procedimento pode ser substituída ou completada pela ISO 3231 [29] utilizando a duração do teste, 240 h (10 ciclos) para a durabilidade baixa, 480 h (20 ciclos) para a durabilidade “média” e 720 h (30 ciclos) para alta durabilidade.

Corrosivity category as defined in ISO 12944-2	Durability ranges	ISO 2812-1 <sup>1)</sup> (chemical resistance)	ISO 2812-2 (water immersion)	ISO 6270 (water condensation)	ISO 7253 (neutral salt spray)
		h	h	h	h
C2	Low	—	—	48	—
	Medium	—	—	48	—
	High	—	—	120	—
C3	Low	—	—	48	120
	Medium	—	—	120	240
	High	—	—	240	480
C4	Low	—	—	120	240
	Medium	—	—	240	480
	High	—	—	480	720
C5-I	Low	168	—	240	480
	Medium	168	—	480	720
	High	168	—	720	1 440
C5-M	Low	—	—	240	480
	Medium	—	—	480	720
	High	—	—	720	1 440
Im1	Low	—	—	—	—
	Medium	—	2 000	720	—
	High	—	3 000	1 440	—
Im2	Low	—	—	—	—
	Medium	—	2 000	—	720
	High	—	3 000	—	1 440
Im3	Low	—	—	—	—
	Medium	—	2 000	—	720
	High	—	3 000	—	1 440

1) Use method 1 (see 5.6 for the chemicals used). The purpose of the chemical-resistance test is not the assessment of corrosion protection properties but to assess the ability of a system to withstand highly industrial environments. Thus, the test duration remains the same whatever the durability range is.  
For corrosivity category C5-I, the ISO 2812-1 procedure can be replaced or supplemented by the ISO 3231 test (10 cycles, 240 h for "low" durability; 20 cycles, 480 h for "medium" durability; and 30 cycles, 720 h for "high" durability).

Figura 1 Procedimento de teste para tinta aplicadas sobre aço segundo ISO 12944-6 (International Organization for Standardization, 2018)

### 2.1.1 Avaliações antes do teste de envelhecimento

Antes dos painéis pintados serem colocados nos testes de corrosão acelerada ou envelhecimento, a tinta deve ser caracterizada pela sua aderência ao substrato. Antes do ensaio de envelhecimento, a aderência deve atender o requisito mínimo de  $X_1 Y_1$  no ensaio de corte em X em conformidade com a norma ISO 16276-2 (International Organization for Standardization, 2007b), embora a recomendação de espessura seja superior a 250  $\mu\text{m}$  para o corte em X, este teste foi usado porque é o mais adequado para a espessura de 200  $\mu\text{m}$ .

### 2.1.2 Avaliações depois dos testes de envelhecimento

Para a avaliação de defeitos nos painéis após o envelhecimento artificial, foi utilizada a coleção de normas ISO 4628. As normas ISO 4628 definem um sistema para indicar a quantidade e tamanho de defeitos e a intensidade das mudanças na aparência dos revestimentos e descreve os princípios gerais do sistema utilizado na norma ISO 4628. Esse sistema destina-se a ser utilizado, em particular, para defeitos causados por envelhecimento e às condições atmosféricas, e por mudanças uniformes, tais como mudanças de cor, por exemplo, o amarelecimento. As outras partes da ISO 4628 fornecem padrões de pictogramas ou outros meios para avaliar determinados tipos de defeitos. A Tabela 1 apresenta os requisitos de testes de avaliação após o envelhecimento artificial.

Teste	Tempo de avaliação	Requisitos	Norma	Referência
Adesão corte em X	24 horas depois do teste	$X_1, Y_1$ mínimo	ISO 16276-2	(International Organization for Standardization, 2007b)
Empolamentos	Avaliação imediatamente após o teste	0 (S0)	ISO 4628-2	(International Organization for Standardization, 2016a)
Corrosão	Avaliação imediatamente após o teste	Ri 0	ISO 4628-3	(International Organization for Standardization, 2016b)
Craqueamento	Avaliação imediatamente após o teste	0 (S0)	ISO 4628-4	(International Organization for Standardization, 2016c)
Esfolheamento	Avaliação imediatamente após o teste	0 (S0)	ISO 4628-5	(International Organization for Standardization, 2016d)
Corrosão ao redor da incisão	Avaliação imediatamente após o teste	1 mm máximo	ISO 4628-8	(International Organization for Standardization, 2012)

Obs.: qualquer defeito dentro de 1 cm das bordas do painel não deve ser considerado como defeito.

Tabela 1 – Avaliação depois dos testes de envelhecimento, normas e requisitos

## 2.2 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica - Avaliação da Tinta conforme ISO 16773 (International Organization for Standardization, 2009a)

Medidas eletroquímicas de espectroscopia de impedância eletroquímicas (EIS) foram utilizadas para avaliar o desempenho na proteção contra a corrosão das amostras revestidas com tinta acrílica DTM em solução eletrolítica com NaCl 3,5%. Medições de EIS foram realizadas no potencial de circuito aberto para diferentes tempos de imersão utilizando um analisador de frequência Gamry Referência 600 potenciostato/galvanostato controlado por software Gamry Framework. Foi adotada uma faixa de frequência de 100 kHz a 5 MHz, com um potencial de perturbação de amplitude sinusoidal de 10 mV rms.

## 2.3 Caracterização da Morfologia

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em um equipamento Philips XL 30 juntamente com um espectrofotômetro EDS (Energy Dispersive Spectroscopy). As amostras pintadas após 48 h de imersão em 3,5% de NaCl foram analisadas e preparadas previamente com depósito por deposição a arco de carbono para torná-las condutoras e evitar a saturação da imagem. A análise por EDS- espectroscopia de energia dispersiva de raios X foi realizada em algumas regiões particulares.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Testes em câmara de névoa salina segundo a ISO 7253 (International Organization for Standardization, 2001)

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos após 720 horas e 1440 horas de teste. Nestas imagens pode-se ver que o painel branco revestido (à esquerda) e à direita da mesma área sem pintura (ele foi removido após ensaio) que tornam fácil de calcular o avanço de corrosão a partir da incisão. Não é possível observar por inspeção visual depois de 720 e 1440 horas, empolamentos, oxidação, fissuras ou descamação do revestimento. Ao calcular o avanço de corrosão seguindo a norma ISO 4628-8 (International Organization for Standardization, 2012), produtos de corrosão detectados não excedem 1 mm para ambos os lados a partir da incisão. Os resultados mostram que o revestimento é aprovado para categoria C5.

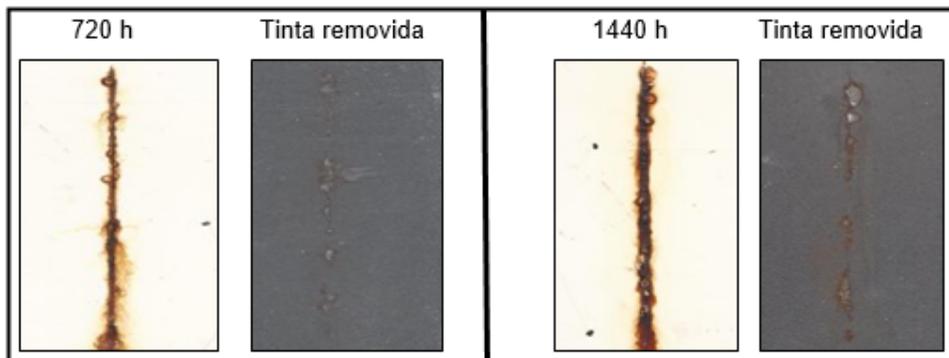


Figura 2 – Aspecto dos painéis depois de 720h e 1440h expostas na câmara de Salt Spray (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

#### 3.2 Testes em câmara de umidade saturada segundo a ISO 6270 (International Organization for Standardization, 1980)

A Figura 3 representa os resultados obtidos após 480 horas e 720 horas de teste. Nestas imagens podemos ver o painel branco (à esquerda) e à direita da mesma área sem pintura (removida). Não se pode notar por inspeção visual após 480 e 720 horas empolamentos, corrosão, rachaduras ou descamação no revestimento. Os resultados mostram que o revestimento é aprovado para categoria C5.

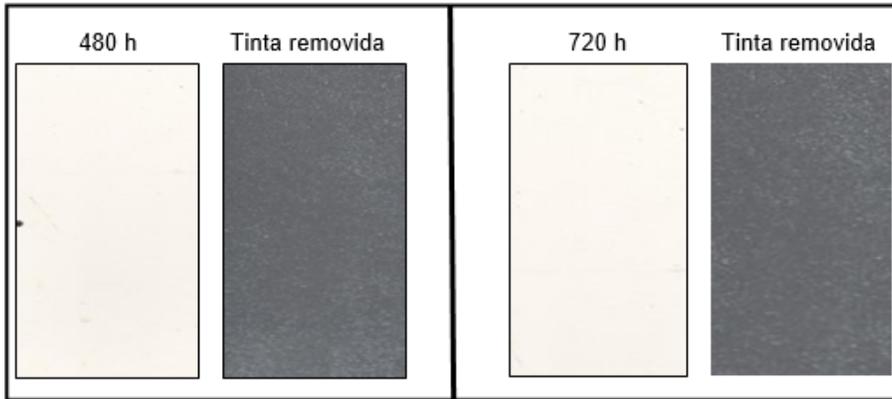


Figura 3 – Aspecto dos painéis depois de 480h e 720h expostas na câmara de umidade saturada (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

### 3.3 Imersão para avaliação da Resistência Química conforme a ISO 2812-1 (International Organization for Standardization, 2017b)

Teste de estresse químico para C5-I Categoria empregando solução aquosa NaOH a 10% (m/m) e solução aquosa de  $H_2SO_4$  a 10% (m/m) foram realizados em painéis revestidos. A Figura 4 apresenta os resultados de testes de resistência química em ambas as soluções, alcalina e ácida, após 168 horas de imersão. Nestas imagens o painel branco (à esquerda) e o painel à direita sem pintura (removida) podem ser observados. Por inspeção visual após 168 horas, não é possível observar empolamentos, corrosão, rachaduras ou descamação. Estes testes são importantes para testar metais para as estruturas que vão estar em contacto com agentes químicos.

Os resultados mostram que o revestimento é aprovado para categoria C5-I.

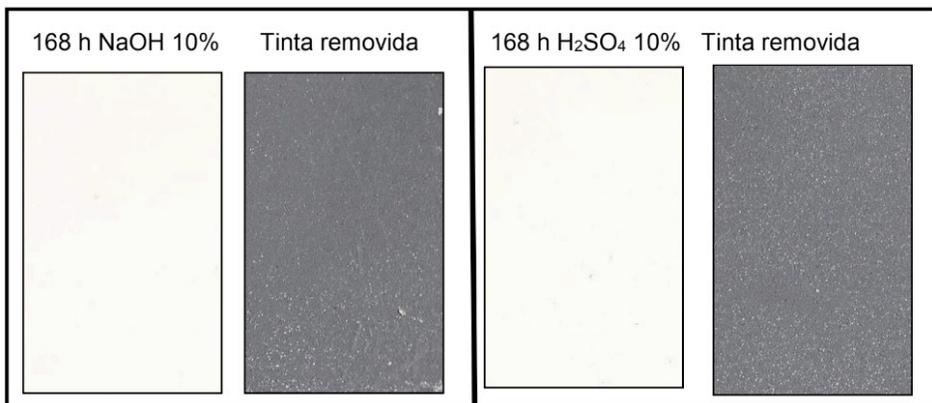


Figura 4 - Aspecto dos painéis após 168h imerso em NaOH 10% e 168h imerso em  $H_2SO_4$  10% (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

### 3.4 Estresse químico em atmosfera contendo dióxido de enxofre conforme ISO 3231 (International Organization for Standardization, 1993)

Foi realizado teste de estresse químico para C5-I categoria expondo painéis revestidos numa atmosfera contendo 17.067 ppm de  $\text{SO}_2$ . A Figura 5 apresenta os resultados da exposição numa atmosfera contendo 2 L de dióxido de enxofre em um volume total de 300 L, após 240, 480 e 720 horas. Nestas imagens podemos ver o painel branco (à esquerda) e o mesmo à direita, da mesma área sem pintura (removida). Não é possível ver após 240 horas de exposição qualquer formação de empolamentos, corrosão, fissuras ou descamação do revestimento. Depois de 480 e 720 horas se pode ver produtos de corrosão (cor marrom). Os compostos de enxofre foram detectados por EDS na superfície do aço de carbono para os maiores tempos de exposição. Estes testes são importantes porque representam áreas poluídas como nas grandes cidades e complexos industriais e confirmou o bom desempenho do revestimento categoria o merecimento C5-I.

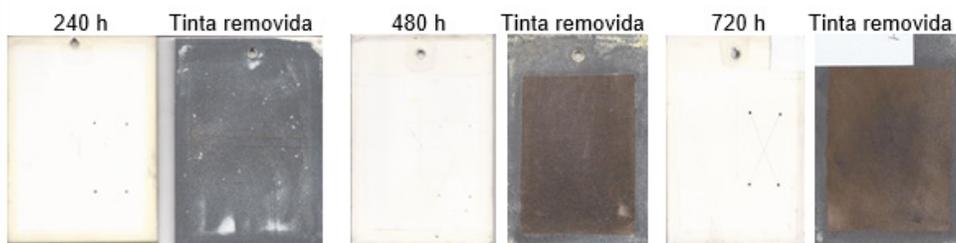


Figura 5 - Aspecto dos painéis depois de 240, 480 and 720 horas expostas na atmosfera com 17067 ppm de dióxido de enxofre (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

### 3.5 Teste Adicional de desempenho – Estresse com radiação UV conforme ASTM D 4587-11 (American Society for Testing and Materials, 2019)

Considerou-se necessário para determinar a capacidade do sistema de pintura para fornecer proteção contra a corrosão, submetê-lo a um teste cíclico usando radiação ultravioleta (UV) e condensação. O teste cíclico foi realizado de acordo com a ASTM D 4587-11 (8 horas a radiação UVA a 60°C e 4 horas de condensação a 50°C para pinturas industriais). A Figura 6 apresenta os resultados ao fim de 500, 1000 e 1500 horas de exposição. O painel branco (à esquerda) e a mesma área com pintura removida, na direita, podem ser observados na Figura 6. Em todos os casos, pode-se notar a perda de brilho, mas o filme de tinta não apresentou escamação e manteve a excelente aderência. Sem empolamentos, corrosão e descamação. Apesar deste teste não ser classificado como um método de avaliação de desempenho de corrosão na norma ISO-12944-6 (International Organization for Standardization, 2018), os resultados mostraram uma película de revestimento com boa integridade porque não foi detectado gizamento.



Figura 6 – Aspecto dos painéis depois de 500, 1000 e 1500 horas expostas no teste ciclico de radiação UV (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

### 3.6 Teste Adicional de desempenho – Estresse em corrosão severa conforme ISO 20340 (International Organization for Standardization, 2009b)

A tinta acrílica DTM foi testada para condições estressantes de corrosão normalmente empregadas para tintas que são aplicadas em estruturas offshore. Sabe-se que, para estas condições o sistema de tinta necessita utilizar primers com proteção catódica de zinco e a NDFT (espessura nominal de película seca) deve ser maior do que  $280 \mu\text{m}$ . A pergunta é: “O que acontece com uma tinta DTM acrílica com  $200 \mu\text{m}$  em um teste severo de corrosão? Para responder a esta questão, a norma ISO-20340 foi empregada. Em cada ciclo de corrosão severa se expõem os corpos de prova a uma semana inteira (168h) que incluiu 72 horas em Salt spray, 72 horas de UV / condensação (UVA 4h  $60^\circ\text{C}$ /4h de condensação  $50^\circ\text{C}$ ) e 24 horas de exposição em baixa temperatura de  $-20^\circ\text{C}$ . Depois foram expostos durante 25 ciclos ou 4200h. Na Figura 7, o resultado do teste dos painéis expostos a 25 ciclos nota-se corrosão apenas nas bordas do corpo de prova. Podemos ver alguns empolamentos de tamanho médio perto das bordas. Analisando-se os painéis após remoção da tinta, o ataque de corrosão está próximo do zero na incisão e no resto da superfície do painel também, exceto em áreas próximas às bordas e conclui-se que houve uma boa proteção. O teste de aderência após 4200h mostrou bons resultados acima da tolerância de 5 Mpa.

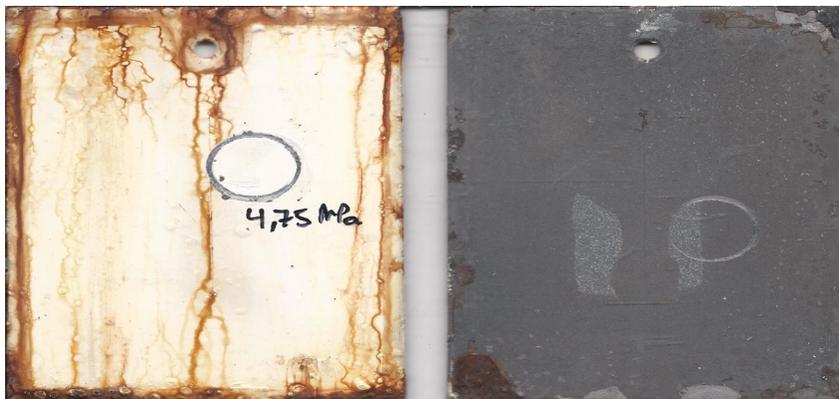


Figura 7 – Aspecto dos painéis depois de 4200h expostos no teste ciclico conforme ISO 20340 (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

### 3.7 Espectroscopia de Impedância Eletroquímica- EIS - avaliação do revestimento seguindo a norma ISO 16773-3 (International Organization for Standardization, 2009a)

A Figura 8 mostra os dados de EIS para amostras revestidas para tempos crescentes de imersão no eletrólito NaCl 3,5% em massa. Os diagramas de Nyquist (Figura 8a) mostram que, após 24 horas de imersão no eletrólito houve uma diminuição notável no módulo de impedância de revestimento, devido, provavelmente, a um estabelecimento de caminhos preferenciais para água e íons em alguns defeitos locais devido à presença de grandes partículas de inibidor de corrosão, apresentados na Figura 9-a. Após 48 h de imersão, o módulo de impedância aumentou novamente e a impedância tem aumentado progressivamente para os tempos de imersão ao longo do tempo, denotando que a tinta torna-se mais resistente, e este fato deve ser atribuído à ocorrência de reações autorreticulação na matriz polimérica. Os dados EIS são de muito boa qualidade, sem ruídos ou oscilações, mesmo em baixas frequências. Depois de 21 dias de imersão, uma das amostras foi retirada do eletrólito e por inspeção visual e por as imagens de microscópio ótico nenhuma corrosão ou formação de empolamento foi observada conforme ISO 4628-2 [24] grau 0S (0).

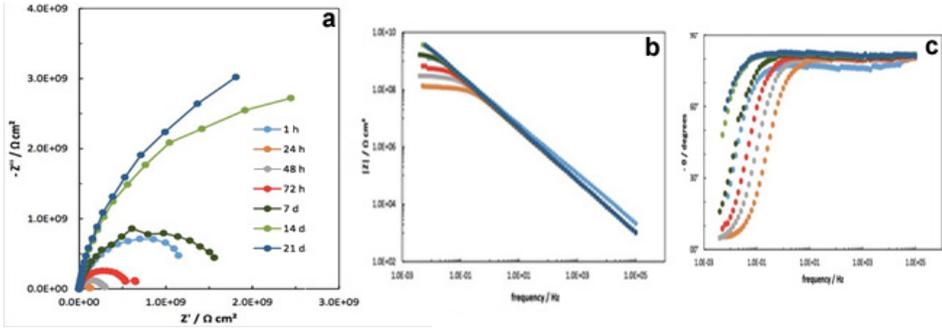


Figura 8 – Nyquist (a) e Bode (b) e Hz vs diagram de ângulo de fase (c) para amostras revestidas com tinta acrílica DTM depois de diferentes tempos de imersão em NaCl 3,5%.

### 3.8 Imagens com Microscópio Óptico

A Figura 9 apresenta o aspecto da amostra da tinta antes (A) e depois (B) da imersão por 25 dias no eletrólito.

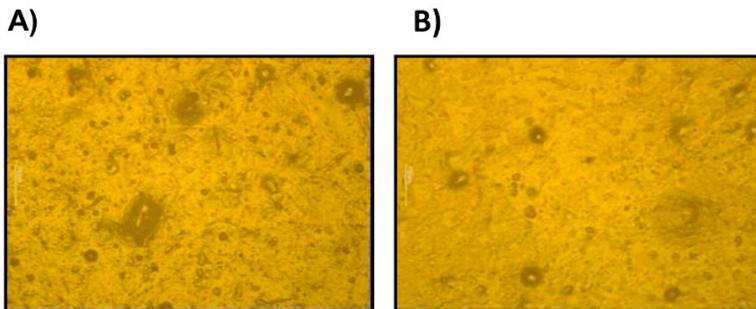


Figura 9 – Imagem da morfologia das superfícies obtida com microscópio óptico dos painéis pintados com a tinta acrílica DTM. (A) painel sem exposição e (B) painel depois de 25 imersos em um eletrólito 3,5% de NaCl.

A superfície antes da imersão apresenta algumas partículas incorporadas na tinta e após imersão parte das partículas parecem ter sido dissolvidas. Não há evidência de ataque para o substrato, depois de 25 dias de imersão em 3,5% de NaCl m/m.

### 3.9 Testes acelerados de corrosão ou testes cíclicos

Tabela 2 com resultados de aderência, empolamentos, craqueamento e esfoliação depois dos testes de envelhecimento acelerado.

Avaliações	ISO 16276 Aderência Antes	ISO 16276 Aderência Depois	ISO 4628-2 Empolamento	ISO 4628-3 Corrosão	ISO 4628-4 Craqueamento	ISO 4628-5 Esfoliação	ISO 4628-8 Corrosão ao redor da incisão	ASTM D523 Brilho
Testes								
Tolerâncias ISO-12944-6	Min $X_1Y_1$	Min $X_1Y_1$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	Max 1mm	
ISO-7253 - 720h Salt Spray	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	0,5mm	
ISO-7253 - 1440h Salt Spray	$X_0Y_0$	$X_0Y_1$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	0,75mm	
ISO-6270 - 480h Camara Úmida	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	NA	
ISO-6270 - 480h Camara Úmida	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	NA	
ISO-3231 240h SO2 2L	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	0 mm	
ISO-3231 480h SO2 2L	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 5	0(S0)	0(S0)	0 mm	
ISO-3231 720h SO2	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 5	0(S0)	0(S0)	0 mm	
ISO-2812-1 168h H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 10% Imersão	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	NA	
ISO-2812-1 168h NaOH 10% Imersão	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	NA	
ASTM D4587-11 500h UV/Cond Test	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	NA	30i/5f
ASTM D4587-11 1000h UV/Cond Test	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	NA	30i/5f
ASTM D4587-11 1500h UV/Cond Test	$X_0Y_0$	$X_0Y_0$	0(S0)	Ri 0	0(S0)	0(S0)	NA	30i/5f
ISO20340 4200h Teste Cíclico		$X_0Y_1$	2 (S4)	Ri 2	0(S0)	0(S0)	0,25 mm	

Tabela 2 – Resultado de testes

Os resultados da Tabela 2 indicam que a tinta é muito resistente e pode ser especificado para os ambientes C4 e C5 das categorias de agressividade.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados do Salt Spray, câmara de umidade e de teste imersões aprovam esta Tinta DTM Acrílica para C4 (alto), C5-M muito alto marinho e C5-I muito alto industrial segundo a ISO-12944-6. No teste com SO<sub>2</sub> conforme ISO 3231 não está aprovada para 480 h e 720h.

No teste cíclico Offshore segundo a ISO 20340 a tinta demonstrou uma proteção muito boa ao metal. Pela técnica de espectroscopia de impedância electroquímica (EIS) a impedância diminuiu após 24 horas de imersão, mas após 48 horas aumentou progressivamente para tempos de imersão mais longos, denotando que a tinta se torna mais resistente com o passar do tempo e esta é uma prova de que as propriedades de autorreticulação funcionam no sistema de formação de película.

Os resultados apontam que esta tinta pode substituir um primer epóxi clássico e um acabamento PU com menor espessura e apenas 50 g/L de VOC.

Os resultados dos tryouts mostram que atende às necessidades de proteção em ambientes agressivos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. *et al.* Anticorrosive painting for a wide spectrum of marine atmospheres: Environmental-friendly versus traditional paint systems. **Progress in Organic Coatings**, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM G154 - Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials**, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4587-11 — Fluorescent UV Condensation Exposure of Paint and Related Coatings**, 2019.

ATHAWALE, V. D.; NIMBALKAR, R. V. **Waterborne coatings based on renewable oil resources: An overview**JAOCS, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2011.

CLAMEN, G. *et al.* **Protection of metal with a novel waterborne acrylic/urethane hybrid technology**Progress in Organic Coatings. **Anais...**2011

CROLL, S. **Overview of developments in the paint industry since 1930**Modern Paints Uncovered: Proceedings from the modern paints uncovered symposium. **Anais...**2007

FLYNN, R. W. Improved formulation and performance for water-borne acrylic maintenance coatings. **Journal of Protective Coatings and Linings**, 1989.

FU, C. *et al.* Optimizing heavy-duty anticorrosive performances of coating films formed by acrylate-vinylidene chloride copolymer latexes through twice-painting technique. **Chinese Journal of Polymer Science (English Edition)**, 2015.

Global Paint & Coatings Industry Market Analysis. **Anti-Corrosion Methods and Materials**, 2011.

GROURKE, M. J. FORMULATION OF EARLY RUST RESISTANT ACRYLIC LATEX MAINTENANCE PAINTS. **Journal of Coatings Technology**, 1977.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 554: Standard atmospheres for conditioning and/or testing — Specifications.**, 1976.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6270: Paints and varnishes – Determination of resistance to humidity (continuous condensation)**., 1980.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8501-1: Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated (ed steel substrates and of steel substrates after over**, 1988.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3231 - Paints and varnishes Determination of resistance to humid atmospheres containing sulfur dioxide**, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7253: Paints and varnishes – Determination of resistance to neutral salt spray (fog)**, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2808: Paints and varnishes – Determination of film thickness**, 2007a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16276-2: Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Assessment of, and acceptance criteria for, the adhesion/cohesion (fracture strength) of a coating - Part 2: Cross-cut testing and X-cut testing**, 2007b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION . **ISO 16773-3: Paints and varnishes -- Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) on high-impedance coated specimens**, 2009a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 20340: Paints and varnishes -- Performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures**, 2009b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4628-8: Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defects – Part 8: Assessment of degree of lamination and corrosion around a scribe or artificial defect.**, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4628-2: Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect -- Part 2: Designation of degree of blistering**, 2016a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4628-3: Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defects – Part 3: Designation of degree of rusting**, 2016b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4628-4: Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect – Part 4: Designation of degree of cracking.**, 2016c.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4628-5: Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defects – Part 5: Designation of degree of flaking.**, 2016d.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12944-2: Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2: Classification of environments**, 2017a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2812-1: Paints and varnishes — Determination of resistance to liquids — Part 1: General methods**, 2017b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 12944-6, Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems — Part 6: Laboratory performance test methods and associated assessment criteria**, 2018.

MURPHY, M. **Waterborne coatings Metal Finishing**, 1995.

PROCOPIO, L. J. Waterborne acrylics for maintenance and protective coatings: Moving beyond light duty. **Journal of Protective Coatings and Linings**, 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)