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

Atena Editora
Ano 2021

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Atena Editora
Ano 2021

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

Ciências Biológicas e da Saúde
Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
Profª Drª 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

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes
Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico
Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Atena Editora
Ano 2021

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 Atílio 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

Atena Editora
Ano 2021

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª 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
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª 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
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Atena Editora
Ano 2021

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia de materiais e metalúrgica: tudo à sua volta 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-962-2
DOI 10.22533/at.ed.622210504

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

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2021

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.

Atena Editora
Ano 2021

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
Marilia 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 Anteveli 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
Wvandson 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 6

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 -18ºC) 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 (Grourke, 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 µm, 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 ± 2) °C / (50 ± 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 μm. 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) específica 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 [1] (chemical resistance) h	ISO 2812-2 (water immersion) h	ISO 6270 (water condensation) h	ISO 7253 (neutral salt spray) 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_1Y_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 μm para o corte em X, este teste foi usado porque é o mais adequado para a espessura de 200 μm.

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	Requesitos	Norma	Referência
Adesão corte em X	24 horas depois do teste	X_1Y_1 minimo	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 requesitos

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 I 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.

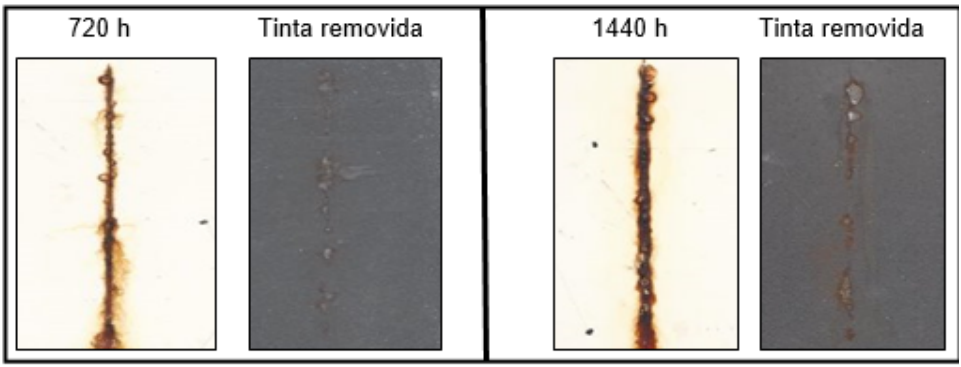


Figura 2 – Aspecto dos painéis depois de 720h e 1440h expostas na câmara de Salt Spray (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

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.

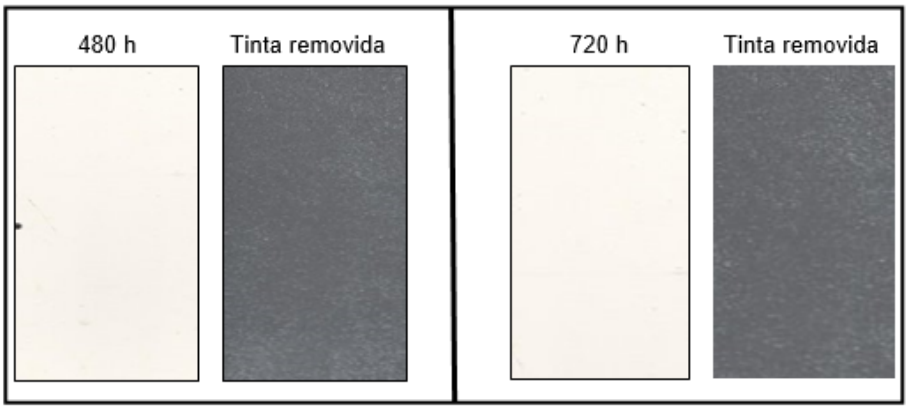


Figura 3 – Aspecto dos painéis depois de 480h e 720h expostas na câmara de umidade saturada (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

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.

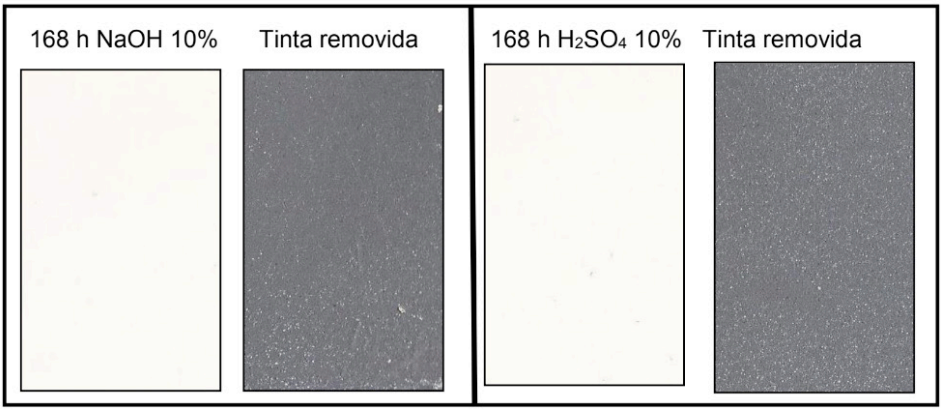


Figura 4 - Aspecto dos painéis após 168h imerso em NaOH 10% e 168h imerso em H_2SO_4 10% (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

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 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.

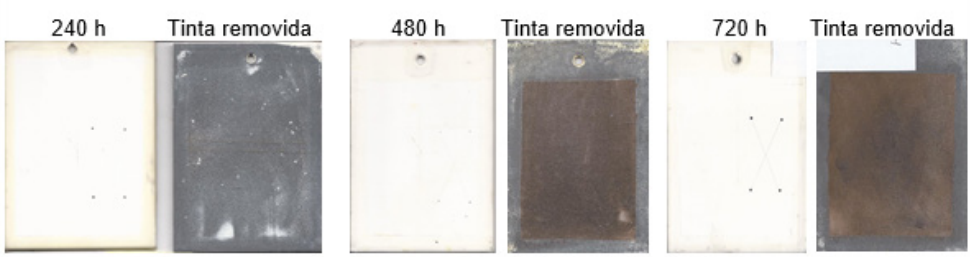


Figura 5 - Aspecto dos painéis depois de 240, 480 and 720 horas expostas na atmosfera com 17067 ppm de dioxido de enxofre (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

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 paineis 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 µm. A pergunta é: "O que acontece com uma tinta DTM acrílica com 200 μm 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 60ºC/4h de condensação 50°C) e 24 horas de exposição em baixa temperatura de -20°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.

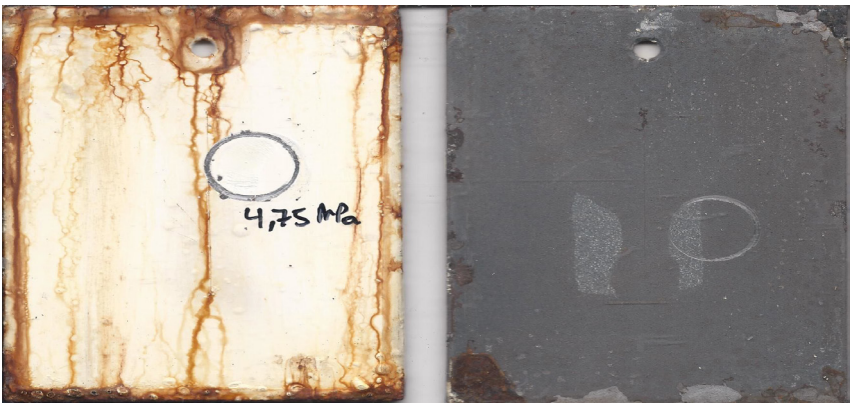


Figura 7 – Aspecto dos painéis depois de 4200h expostos no teste ciclico conforme ISO 20340 (revestida – à esquerda e revestimento removido - direita)

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 resistentes, 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).

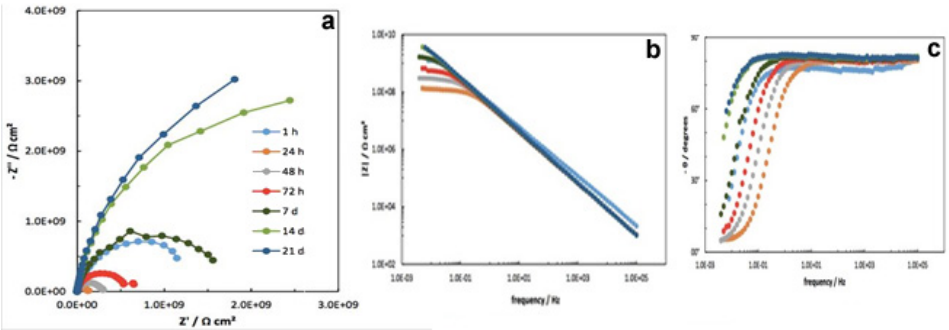


Figura 8 – Nyquist (a) e Bode (b) e Hz vs diagram de ângulo de fase (c) para amostras revestidas com tinta acrílica DTM depois de diferentes tempos de imersão em NaCl 3,5%.

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.

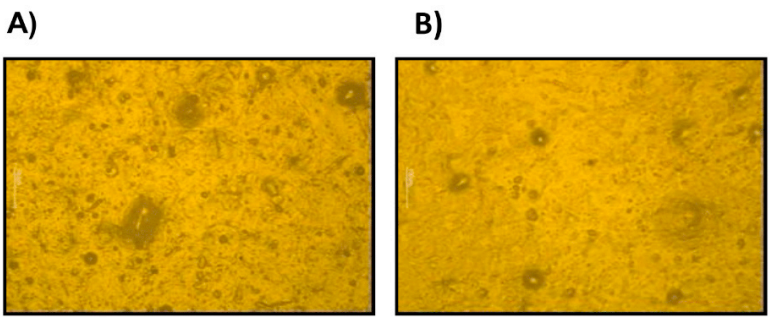


Figura 9 – Imagem da morfologia das superfícies obtida com microscópio óptico dos painéis pintados com a tinta acrílica DTM. (A) painel sem exposição e (B) painel depois de 25 imersos em um eletrólito 3,5% de NaCl.

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 / Testes	ISO 16276 Aderência Antes	ISO 16276 Aderência Depois	ISO 4628-2 Empola-mento	ISO 4628-3 Corro-são	ISO 4628-4 Craquea-mento	ISO 4628-5 Esfoliação	ISO 4628-8 Corro-são ao redor da incisão	ASTM D523 Brilho
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_2SO_4 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 Ciclico		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_2 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 overviewJAOCS, 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

Aciaria elétrica 111, 119

Aço inoxidável 28, 63, 64, 68, 74, 111, 112, 113

Aços ARBL 1, 2

Ambientes agressivos 76, 89

B

Bambu 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172

Blindagem balística 120

C

Cicatrização 67, 174, 175, 181, 182

Coloração 92, 93, 94, 95, 96, 176, 179, 193

Compactação 133

Compósito 120, 122, 123, 124, 125, 130, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172

Corrosão 64, 69, 70, 71, 73, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 92, 93, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 200

E

Efeito memória 40, 41, 47, 51, 58, 59, 60, 61

Esponjas de poliuretano 151

F

Fadiga 63, 64, 69, 70, 71, 72, 73, 74

Fibras 153, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 189

Fibroína 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199

I

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

L

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

M

Membranas 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 198, 199

Metálica 16, 79, 100, 102, 118, 165

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

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

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

O

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

Óxido de Ti 92

P

Penetração de solda 14, 25, 26

Prótese femoral 63

Q

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

R

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

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

Remoção de óleo 151

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

Resíduos siderúrgicos 111

Resina 164, 167, 169, 170, 172

Revestimento acrílico 76

Rota térmica 133

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

T

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

Tintas 76, 77, 78, 79, 85

Tratamento criogênico 40, 41, 48, 59, 60

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

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2021

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2021