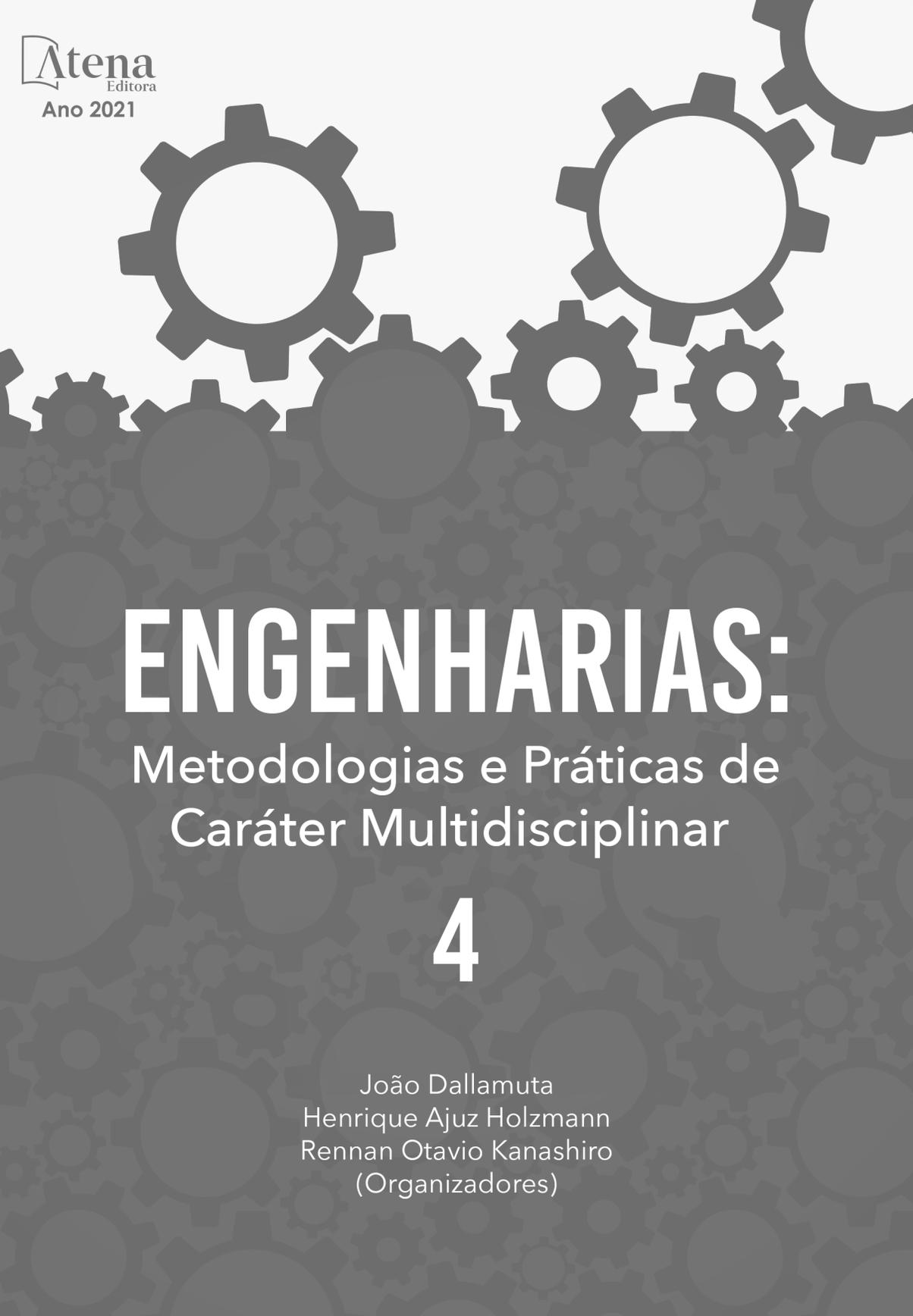


ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)



ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

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

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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^ª 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^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Livia 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^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª 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^ª 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^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 4 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-889-2

DOI 10.22533/at.ed.892211003

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. 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

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

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES

Vinícius Borges de Moura Aquino

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110031

CAPÍTULO 2..... 18

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO

Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110032

CAPÍTULO 3..... 34

THE USE OF BABASSU COCONUT FIBERS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

Wilson Alves Oliveira Junior

Maria Elayne Rodrigues Alves

Bruna Leal Melo de Oliveira

João Batista de Oliveira Libório Dourado

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8922110033

CAPÍTULO 4..... 40

RECICLAGEM DO POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRAS

Terezinha Jocelen Masson

Rafael dos Santos Lima

DOI 10.22533/at.ed.8922110034

CAPÍTULO 5..... 58

DESMITIFICANDO A RADIOATIVIDADE

Leandro Soares da Silva

Déborah Vitória de Souza Silva

Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti

Kauã Felipe Santiago

José Allan da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8922110035

CAPÍTULO 6..... 66

PROPOSTA DE SILO GRANELEIRO TEMPORÁRIO PARA FAZENDAS DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO BRASIL

José Roberto Rasi

Jorge Augusto Serafim

Jonathan Figueiredo Broetto

DOI 10.22533/at.ed.8922110036

CAPÍTULO 7.....84

USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE

Helena Maria Wilhelm
Paulo Oliveira Fernandes
Geovana Carolina dos Santos
Maria Letícia Gomes dos Santos
Thatiane Tamyris Kuczera Pereira
Laís Pastre Dill
Daniel da Conceição Aroucha Filho
Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro
Arley de Paula Mar
Pedro José dos Santos Junior

DOI 10.22533/at.ed.8922110037

CAPÍTULO 8.....97

SÍNTESE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO CERÂMICO ZIRCÔNIA E ALUMINA PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESE CRANIOMAXILOFACIAL

José Victor Passos Santiago
Viviane Silva Gomide

DOI 10.22533/at.ed.8922110038

CAPÍTULO 9.....108

SUITABILITY OF INTERNAL TANK COATINGS FOR AROMATIC HYDROCARBONS STORAGE

Ulysses Ramos
Aldo Ramos Santos
Joaquim Pereira Quintela
Carlos Rene Klotz Rabello
Cleber Gonçalves Ferreira
Emmanuelle Sá Freitas

DOI 10.22533/at.ed.8922110039

CAPÍTULO 10.....120

DISEÑO DE UN FALDÓN ESTRUCTURAL CIRCULAR DE APOYO PARA UN SILO METÁLICO CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 300 M³ DE CLINKER

Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

DOI 10.22533/at.ed.89221100310

CAPÍTULO 11.....136

DETERMINAÇÃO DE DESCARGAS DE LODO DE REATORES UASB COM PÓS-TRATAMENTO AERADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO EFLUENTE

Jane Mary Targino Moreira
Ruam Magalhães da Silva
Renata Carlos Freire

DOI 10.22533/at.ed.89221100311

CAPÍTULO 12.....	147
AVALIAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL ISOLANTE OBTIDO DE UMA NOVA FONTE DE MATÉRIA-PRIMA: AS MICROALGAS	
Helena Maria Wilhelm Giorgi Dal Pont Claudio Aparecido Galdeano Eduardo João de Palma Luiz A. Ravaglia	
DOI 10.22533/at.ed.89221100312	
CAPÍTULO 13.....	158
ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO	
Antonio Nilson Zamunér Filho Gabriel Gomes Silva Wellington Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.89221100313	
CAPÍTULO 14.....	171
ANÁLISE DE TENSÃO E COMPARAÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO EM ROD END	
Jói da Silva Theis Luiz Carlos Gertz André Cervieri Antonio Flavio Aires Rodrigues Gustavo Pizarro Meneghello	
DOI 10.22533/at.ed.89221100314	
CAPÍTULO 15.....	179
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE TiO₂	
Luana Góes Soares da Silva Annelise Kopp Alves	
DOI 10.22533/at.ed.89221100315	
CAPÍTULO 16.....	189
EFEITOS DA PIRÓLISE SUAVE EM PELLETS DE <i>Pinus</i>	
Nathalia Heloisa Dullius Anderson Rodrigo Heydt Adriana Ferla de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.89221100316	
CAPÍTULO 17.....	197
ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100	
Helena Maria Wilhelm Paulo Oliveira Fernandes	

Leandro Gonçalves Feitosa
Geovana Carolina dos Santos
Laís Pastre Dill
Leonardo Galhardo
Richard Marek

DOI 10.22533/at.ed.89221100317

CAPÍTULO 18.....209

**DESENVOLVIMENTO DE MADEIRA PLÁSTICA: COMPÓSITOS HÍBRIDOS
POLIPROPILENO/PÓ DE MADEIRA/FIBRA NATURAL**

Terezinha Jocelen Masson
Leila Figueiredo de Miranda
Antonio Hotêncio Munhoz Junior

DOI 10.22533/at.ed.89221100318

CAPÍTULO 19.....220

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE EXTRATO DE LIGNINA OBTIDO A
PARTIR DA HIDRÓLISE ALCALINA DA CASCA DE CAFÉ**

Beatriz Leite
Daniel Vieira Mendes
Matheus de Souza Santos
Thiago Wilker Souza do Carmo
Renata Carolina Zanetti Lofrano
Boutros Sarrouh

DOI 10.22533/at.ed.89221100319

CAPÍTULO 20.....233

**ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM PROFESSORES E
ALUNOS, NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO BREU BRANCO-PA**

Beatriz Souza da Silveira
Enayle Maria de Freitas Silva
Marcelo Melo dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.89221100320

CAPÍTULO 21.....245

**O BISCOITO ARTESANAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA E O SEU POTENCIAL PARA
REGISTRO COMO UMA INDICAÇÃO GEOGRÁFICA**

Valdir Silva da Conceição
Dayana Ferraz Silva
Angela Machado Rocha
Marcelo Santana Silva

DOI 10.22533/at.ed.89221100321

CAPÍTULO 22.....259

**EXTENSÃO INTERDISCIPLINAR NAS PRÁTICAS DE CUIDADOS – CENOPOESIA E
AQUARELA NA SAÚDE MENTAL**

Midiã Kaddja Nunes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

DOI 10.22533/at.ed.89221100322

SOBRE OS ORGANIZADORES	273
ÍNDICE REMISSIVO.....	274

ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100

Data de aceite: 01/03/2021

Helena Maria Wilhelm

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/5390521534895856>

Paulo Oliveira Fernandes

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7877059584223513>

Leandro Gonçalves Feitosa

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0014849803778166>

Geovana Carolina dos Santos

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/8635944904322133>

Laís Pastre Dill

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0143718255333234>

Leonardo Galhardo

DuPont Energy Solutions
Santana de Parnaíba - São Paulo

Richard Marek

DuPont Energy Solutions
Richmond – USA

de distribuição e de potência. Todavia, o tipo de óleo mineral isolante e papel a serem utilizados nos testes influenciam nos resultados obtidos. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades de três papéis kraft termoestabilizados, obtidos de diferentes fornecedores, como sistemas de referência de acordo com a norma IEEE C57.100:2011. Para tanto, os três papéis distintos foram inicialmente caracterizados, sendo determinado seu grau de polimerização (GP), resistência à tração e teor de nitrogênio. Na sequência, os papéis foram secos até atingir um teor de umidade inferior a 0,5% e envelhecidos em óleo mineral isolante em duas temperaturas por diferentes intervalos de tempo (180 °C por 18 dias e a 165 °C por 55 dias). Após, foram realizados ensaios de GP e de resistência à tração nos papéis envelhecidos e os resultados obtidos foram comparados entre si. A reprodutibilidade desse procedimento geral, descrito na norma IEEE C57.100:2011, foi avaliada em dois laboratórios diferentes, um nacional e outro americano. O laboratório nacional testou a relação de materiais para transformadores de potência, enquanto o americano testou as duas relações, distribuição e potência. Neste artigo estão apresentados os resultados obtidos para os diferentes papéis investigados, para as duas relações de materiais (distribuição e potência) e para as temperaturas de 180 e 165 °C. Para a relação de materiais de transformadores de potência, pequenas diferenças foram observadas entre os resultados absolutos de alguns ensaios dos dois laboratórios. Embora tenham sido observadas essas pequenas diferenças, ambos os laboratórios obtiveram resultados comparáveis se consideradas

RESUMO: A norma IEEE C57.100 estabelece um procedimento simples para a determinação da vida útil de papéis isolantes de transformadores

as características de fim de vida para os papéis testados. Por fim, sugestões para melhorar a reprodutibilidade entre os laboratórios são apresentadas e discutidas neste artigo.

PALAVRAS-CHAVE: IEEE Std C57.100, classe térmica, papel kraft isolante, papel kraft termoestabilizado, óleo mineral isolante.

STUDY OF REFERENCE INSULATING SYSTEMS USED IN THE DETERMINATION OF THERMAL CLASS OF NEW INSULATING SYSTEMS ACCORDING TO IEEE C57.100 STANDARD

ABSTRACT: IEEE C57.100 standard establishes a simple procedure to determine lifetime of insulating papers of distribution and power transformers. However, the type of insulating mineral oil and paper to be used in tests have effect on the obtained results. In view of this, the aim of this study was to evaluate the properties of three thermal upgraded kraft paper, obtained from different providers, as reference systems according to IEEE C57.100:2011 standard. In order to do this, the three distinct paper were firstly characterized by polymerization degree (PD), tensile strength and nitrogen content. Then, the papers were dried until reach moisture content lower than 0.5% and they were aged in insulating mineral oil at two temperatures for different periods (180 °C for 18 days and 165 °C for 55 days). Afterwards, PD and tensile strength assays were performed for aged papers and the results were compared to each other. The reproducibility of this general procedure described on IEEE C57.100:2011 standard, was evaluated in two distinct laboratory, one national and other American. The national laboratory tested the relation of materials for power transformers while the American one tested both relations, for distribution and for power transformers. In this study there are presented the results obtained for the different papers investigated, for the two relation of materials (distribution and power) and for the temperatures of 180 and 165 °C. For the relation of power transformer materials, small differences were observed between the absolute results of some assays of the two laboratories. Although these small differences were observed, both the two laboratories achieved resembling results if considering the end life characteristics of the tested papers. Finally, some suggestions to improve the reproducibility between laboratories are presented and discussed in the present study.

KEYWORDS: IEEE Std C57.100, thermal class, insulating kraft paper, thermal upgraded kraft paper, insulating mineral oil.

1 | INTRODUÇÃO

A norma IEEE Std C57.100 (*Standard Test Procedure for Thermal Evaluation of Insulation Systems for Liquid-Immersed Distribution and Power Transformers*), que define procedimentos para a determinação da classe térmica de novos sistemas isolantes, foi revisada em 2011. O sistema de isolamento para aplicação desta norma inclui o papel kraft termoestabilizado, o *pressboard* e o óleo mineral isolante (OMI). Nesta revisão, o procedimento para determinar a classe térmica de novos sistemas isolantes (denominado de *candidate system*) é baseado no uso de um sistema de referência (denominado de *industry proven system*) (IEEE, 2011).

O procedimento da norma IEEE Std C57.100 exige que seja feito, inicialmente, o envelhecimento do sistema de referência (*industry proven system*) em três diferentes temperaturas, em triplicata, em células de teste fechadas, acondicionadas em uma estufa. As células de teste permanecem na estufa por um intervalo de tempo específico, determinado previamente pela curva de Arrhenius, como definido na IEEE Std C57.12.00 (IEEE, 2015). Nas amostras do papel de referência envelhecidas devem ser realizados ensaios de resistência mecânica à tração para determinar o percentual remanescente da resistência mecânica do papel envelhecido [percentual remanescente da resistência mecânica do papel envelhecido = (resistência à tração do papel envelhecido x 100)/resistência à tração do papel novo] ou o grau de polimerização (GP) e, em seguida, todos os nove resultados do teste são avaliados em conjunto (IEEE, 2011).

O valor da resistência à tração remanescente e o do GP do papel envelhecido são, então, utilizados como critérios de fim de vida para o novo sistema isolante (*candidate system*) a ser investigado. A norma IEEE Std C57.100 define uma relação diferente de materiais para transformadores de distribuição e de potência (IEEE, 2011). Embora este procedimento seja simples, em geral, na prática surgem algumas dúvidas com relação ao tipo de óleo mineral isolante e papel kraft termoestabilizado a serem utilizados, uma vez que variações na qualidade e no desempenho destes podem gerar resultados diferentes. Portanto, não está claro ainda como possíveis variações no sistema de referência podem afetar o resultado do novo sistema isolante sob investigação.

No sentido de contribuir para o esclarecimento das questões supracitadas foi desenvolvido o presente trabalho. Neste estudo se investigou três papéis kraft termoestabilizados distintos, produzidos por fabricantes de três diferentes áreas geográficas, como sistemas de referência de acordo com a norma IEEE Std C57.100:2011 (IEEE, 2011). Um fabricante foi selecionado da Europa, um da Ásia e um da América do Norte. Para tanto, os três papéis kraft termoestabilizados, de diferentes fornecedores, foram inicialmente caracterizados, sendo determinado o GP, a resistência à tração e o teor de nitrogênio. Neste artigo estão apresentados os resultados obtidos para os diferentes papéis investigados para as temperaturas de 180 e 165 °C.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos papéis kraft termoestabilizados novos

Três papéis kraft termoestabilizados, aqui denominados de Papel 1, Papel 2 e Papel 3, obtidos de três diferentes fornecedores (um fabricante foi selecionado da Europa, um da Ásia e um da América do Norte) foram analisados quanto ao seu teor de água baseando-se na norma ASTM D3277:2010 (ASTM, 2010), nitrogênio total pelo método de Kjeldahl segundo a norma AOAC 955.04D:2014 (AOAC, 2014), grau de polimerização conforme

ABNT NBR IEC 60450:2009 (ABNT, 2009) e resistência mecânica à tração pelo método ASTM D882:2018 (ASTM, 2018a) para o Laboratório 1 e ASTM D828:2018 (ASTM, 2018b) para o Laboratório 2.

Previamente à determinação do teor de água, amostras dos papéis foram acondicionadas em ambiente com temperatura e umidade controladas (18,8 °C e 14% de umidade relativa) e em ambiente não controlado (temperatura ambiente de aproximadamente 26 °C e umidade relativa aproximada de 65%).

Para os ensaios mecânicos de tração, a distância entre as garras e a velocidade de separação das mesmas foram fixadas em 76 mm e 12,5 mm min⁻¹, respectivamente, para o Laboratório 1 e em 63,5 mm e 6,35 mm min⁻¹, respectivamente, para o Laboratório 2. O ensaio mecânico foi realizado em amostras de papel impregnadas com OMI. A impregnação dos papéis com OMI foi realizada segundo a ASTM D2413:2016 (ASTM, 2016).

2.2 Envelhecimento acelerado dos papéis kraft termoestabilizados

O Laboratório 1 testou a razão de materiais para transformadores de distribuição e de potência e o Laboratório 2 apenas para transformadores de potência (Tabela 1). Os dois laboratórios usaram células de envelhecimento com diferentes dimensões (Tabela 2), sendo as células do Laboratório 1 construídas em aço e as do Laboratório 2 em alumínio (Figura 1). Ambas as células são equipadas com uma válvula de alívio de pressão ajustada para 69 kPa (10 Psi). Na Figura 1 consta o interior de uma célula de envelhecimento, utilizada pelo Laboratório 1, com a relação típica de materiais para transformadores de distribuição.

Material	Tipo de transformador	
	Potência	Distribuição
Líquido isolante	200 cm ³	200 cm ³
Papel isolante 0,05 até 0,10 mm	6,4 cm ³	
Papel isolante 0,13 até 0,38 mm		11,2 cm ³
<i>Pressboard</i> de baixa densidade 1,00 até 3,00 mm		1,2 cm ³
<i>Pressboard</i> de baixa densidade 2,00 até 8,00 mm	16,4 cm ³	
Razão líquido/sólido	8,8:1	16,3:1

Tabela 1 – Razões de materiais para os transformadores de distribuição e de potência definidas para o teste em tubos selados (IEEE, 2011).

	Laboratório 1	Laboratório 2
Altura	20,3 cm	18,0 cm
Largura	12,7 cm	8,2 cm
Volume total	2573,9 cm ³	950,6 cm ³

Tabela 2 – Dimensões das células de envelhecimento.

As células de envelhecimento foram preenchidas com óleo mineral isolante e cobre metálico. Então, as amostras de papel e *pressboard* foram removidas do dispositivo de impregnação e inseridas nas células. Neste momento, foi coletada uma amostra de papel para determinação do teor de umidade. As células foram fechadas (tampa aparafusada) e o ar do *headspace* removido pela introdução de gás nitrogênio até a pressão, registrada pelo manômetro, atingir 4 Psi.



Figura 1 - Célula de envelhecimento contendo os materiais sólidos.

As células, contendo as razões de materiais apresentadas na Tabela 1, foram dispostas em estufas. O envelhecimento acelerado foi realizado a 180 °C por 18 dias e a 165 °C por 55 dias, pelos Laboratórios 1 e 2. Os ensaios foram realizados em triplicata. Ao final do tempo de envelhecimento, as células foram removidas da estufa e foi avaliado se houve perda de pressão. As células foram esfriadas à temperatura ambiente e após foram abertas. Os metais foram descartados. O papel e o *pressboard* foram guardados em sacos plásticos tipo “Zip”, para evitar contato com a umidade do ambiente.

2.3 Caracterização dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos

A caracterização dos papéis kraft termoestabilizados após envelhecimento foi realizada por ensaios de determinação de teor de água (ASTM, 2010), grau de polimerização (ABNT, 2009) e resistência mecânica à tração (ASTM, 2018a e ASTM, 2018b). Para os ensaios mecânicos de tração o óleo não foi extraído das amostras de papel.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades dos papéis kraft termoestabilizados novos

Na Tabela 3 estão apresentadas as concentrações de nitrogênio presentes nos três

papéis kraft termoestabilizados novos. Os Papéis 2 e 3 apresentaram teores de nitrogênio similares, enquanto o Papel 1 apresentou o menor valor para este mesmo parâmetro.

Papel	Nitrogênio total (%)	
	Laboratório 1	Laboratório 2
Papel 1	1,67	1,80
Papel 2	2,17	2,15
Papel 3	2,18	2,13

Tabela 3 – Valor médio do teor de nitrogênio total dos papéis kraft termoestabilizados novos, determinado pelo método Kjeldahl.

O teor de umidade determinado nos papéis kraft termoestabilizados novos são mostrados na Tabela 4. Quando expostos a diferentes condições de umidade e temperatura, os 3 papéis apresentaram teores de umidade semelhantes.

Papel	Teor de umidade (%)	
	Laboratório 1 RH = 14%	Laboratório 2 RH = 65%
Papel 1	1,3	8,9
Papel 2	1,5	8,0
Papel 3	1,7	8,3

Tabela 4 – Teor de umidade dos papéis kraft termoestabilizados novos.

Os resultados dos ensaios mecânicos de tração estão mostrados na Tabela 5. Os três papéis novos apresentaram espessuras, alongamento e módulo de Young similares (Tabelas 5 e 6) para ambos os laboratórios. As diferenças observadas entre os Laboratórios 1 e 2 podem ser atribuídas às diferenças na distância e velocidade de separação das garras. O Papel 3 apresentou maior resistência à tração comparativamente aos demais papéis.

Papel	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	0,082±0,004	130,1±11,6	2,12±0,19	9,20±1,57
Papel 2	0,082±0,001	136,4±13,9	1,72±0,14	10,43±1,32
Papel 3	0,073±0,001	176,6±17,8	1,81±0,18	12,04±1,30

Tabela 5 – Propriedades mecânicas de tração (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados novos, medidas pelo Laboratório 1.

Papel	Espessura (mm)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	0,086±0,003	100,5±3,6	3,47±0,10	6,22±0,28
Papel 2	0,090±0,003	106,9±4,1	2,94±0,11	7,14±0,35
Papel 3	0,078±0,006	138,6±8,6	3,15±0,02	8,63±0,48

Tabela 6 – Propriedades mecânicas de tração (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados novos, medidas pelo Laboratório 2.

O valor do GP médio dos papéis novos está apresentado na Tabela 7. Os valores foram semelhantes para os três papéis analisados.

Papel	Laboratório 1	Laboratório 2
Papel 1	1014	1189±14
Papel 2	1155	1257±10
Papel 3	1028	1184±11

Tabela 7 – Grau de polimerização (GP) (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados novos, medidos pelos Laboratórios 1 e 2.

3.2 Propriedades dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos

Os resultados dos ensaios mecânicos de tração para os papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C, na razão de materiais para transformadores de potência, são mostrados nas Tabelas 8 e 9. Para ambos os laboratórios, o Papel 3 envelhecido apresentou maior resistência à tração comparativamente aos demais.

Papel	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	21,77±1,36	0,79±0,31	6,442±0,133
Papel 2	19,15±1,21	0,67±0,24	8,075±0,186
Papel 3	32,64±1,89	0,58±0,20	11,513±0,244

Tabela 8 – Propriedades mecânicas (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidas pelo Laboratório 1.

Papel	Resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (GPa)
Papel 1	18,04±3,85	0,93±0,37	2,724±0,30
Papel 2	13,74±2,70	1,67±0,27	0,938±0,13
Papel 3	26,52±2,01	0,83±0,6	0,942±0,38

Tabela 9 – Propriedades mecânicas (valor médio ± desvio padrão) dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidas pelo Laboratório 2.

O teor de umidade medido nos papéis envelhecidos a 180 e 165 °C, para a razão de materiais para transformadores de potência, estão apresentados na Tabela 10. Resultados similares foram obtidos para ambos os laboratórios para os papéis envelhecidos a 180 °C, no entanto, a 165 °C valores diferentes foram obtidos. Essa diferença pode ser devido ao tempo de resfriamento das células após retirada da estufa, cujo tempo não foi pré definido entre os laboratórios.

Razão de materiais e temperatura (°C)	Papel	Conteúdo de umidade (%)	
		Laboratório 1	Laboratório 2
Distribuição, 180 °C	Papel 1	1,3	
	Papel 2	1,0	
	Papel 3	1,3	
Distribuição, 165 °C	Papel 1	1,3	
	Papel 2	1,2	
	Papel 3	1,5	
Potência, 180 °C	Papel 1	1,4	0,9
	Papel 2	1,2	0,9
	Papel 3	0,9	0,9
Potência, 165 °C	Papel 1	1,4	5,1
	Papel 2	1,3	4,8
	Papel 3	1,1	4,5

Tabela 10 - Conteúdo de umidade (valor médio) dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos, obtidos pelos laboratórios 1 e 2.

Os percentuais remanescentes da resistência à tração dos ensaios realizados com a razão de materiais para transformadores de distribuição estão mostrados na Tabela 11. Os resultados mostram boa uniformidade, exceto para o Papel 3 a 165 °C. Sem excluir nenhum dado, o valor médio da resistência à tração remanescente é de 23% e o GP médio

é de 160 para os testes com a razão de materiais para transformadores de distribuição.

Temperatura (°C)		Papel 1	Papel 2	Papel 3
180	Resistência à tração remanescente, %	20,28	31,38	19,98
		18,24	19,98	22,53
		26,16	23,23	21,03
	Valor médio	21,56	24,87	21,18
	GP	161	224	168
		128	193	199
		147	128	168
Valor médio		145	182	178
165	Resistência à tração remanescente, %	21,32	31,58	14,21
		36,13	21,95	9,99
		28,84	32,60	10,47
	Valor médio	28,76	28,71	11,56
	GP	154	180	128
		218	168	101
		141	193	82
Valor médio		171	180	104

Tabela 11 - Percentual remanescente da resistência à tração e GP dos papéis envelhecidos a 180 e 165 °C (razão de materiais para transformadores de distribuição) obtidos pelo Laboratório 1.

Os percentuais remanescentes da resistência à tração dos ensaios realizados com a razão de materiais para transformadores de potência estão apresentados nas Tabelas 12 e 13. Os resultados obtidos mostram boa uniformidade entre temperaturas e laboratórios, exceto para os valores de GP dos Papéis 1 e 2 a 180 °C obtidos pelo Laboratório 2. Sem excluir nenhum dado, o valor médio para a resistência à tração remanescente é de 13,5% e o valor médio do GP é de 113 para os testes com a razão de materiais para transformadores de potência.

Propriedade	Papel 1		Papel 2		Papel 3	
	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2
Resistência à tração, %	16,67	10,04	12,58	9,82	16,08	9,82
	17,39	13,62	12,41	9,15	16,60	14,58
	16,07	15,00	18,98	12,30	21,41	18,80
Valor médio	16,71	12,89	14,65	10,43	18,03	14,40
GP	121	64	141	29	132	169
	108	40	115	30	115	184
	82	29	108	35	147	101
Valor médio	104	44	121	31	131	151

Tabela 12 - Percentual remanescente da resistência à tração e GP dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 180 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidos pelos Laboratórios 1 e 2.

Propriedade	Papel 1		Papel 2		Papel 3	
	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2	Laboratório 1	Laboratório 2
Resistência à tração, %	13,73	8,24	6,85	8,12	12,24	14,31
	15,58	16,71	11,06	16,02	10,42	15,36
	11,70	17,05	9,63	13,27	9,73	15,35
Valor médio	13,67	14,0	9,18	12,47	10,80	15,01
GP	108	127	121	150	161	140
	108	127	108	123	147	143
	128	129	128	127	121	148
Valor médio	115	128	119	125	143	144

Tabela 13 – Percentual remanescente da resistência à tração e GP dos papéis kraft termoestabilizados envelhecidos a 165 °C (razão de materiais para transformadores de potência), obtidas pelos Laboratórios 1 e 2.

Todos os papéis envelhecidos apresentaram valores de GP menores que 182 para as razões de materiais para transformadores de distribuição (Tabela 11) e menores que 151 para as razões de materiais para transformadores de potência (Tabela 12), com alguns valores menores que 31, indicando que os papéis foram muito envelhecidos (degradados). A taxa de envelhecimento do papel isolante também é afetada pela concentração de oxigênio no óleo (Lelekakis et al., 2014). Contudo, nestes experimentos a concentração de oxigênio no óleo não foi medida pelos laboratórios e possíveis variações nas concentrações de oxigênio podem explicar algumas das variações observadas no GP e nos valores da resistência à tração remanescente obtidas pelos dois laboratórios. Outra possibilidade é a

degradação não uniforme do papel ao longo da tira de papel.

4 | CONCLUSÃO

Neste estudo foram apresentados apenas os dados obtidos para os papéis envelhecidos em duas temperaturas (180 e 165 °C). Sendo assim, não foi possível realizar o cálculo de vida útil dos papéis testados, porque para isto são utilizadas no mínimo três temperaturas nesses procedimentos. No entanto, considerações importantes puderam ser extraídas destes resultados. Primeiramente, os resultados obtidos neste estudo mostram claramente que o procedimento dos ensaios realizados foi adequado, uma vez que foi possível atingir o fim de vida útil para todas as amostras de papel testados. Embora o procedimento da norma IEEE C57.100 permita escolher a análise do GP ou do percentual remanescente da resistência à tração como critérios de fim de vida útil, este último apresentou menores variações.

Com exceção das medidas de GP, que variaram mais significativamente, os resultados dos testes de ambos os laboratórios se compararam razoavelmente bem, sugerindo que o procedimento também é reprodutível em diferentes laboratórios. Apesar de pequenas diferenças entre os dois laboratórios terem sido observadas para os resultados absolutos de alguns testes, ambos os laboratórios obtiveram resultados comparáveis ao considerar as características de fim de vida para todos os papéis testados. É possível que uma melhor correspondência para os resultados dos testes possa ser obtida através do controle dos procedimentos de teste mais detalhadamente, como o oxigênio dissolvido nas amostras de óleo e o tempo de repouso das células antes da sua abertura.

Os dados obtidos nos dois laboratórios foram satisfatórios, mesmo com o uso de células de teste diferentes, visto que o Laboratório 1 usou células em aço inoxidável e o Laboratório 2 em alumínio. O volume das células também foi significativamente diferente, sendo de 2,6 L para o Laboratório 1 e apenas 0,95 L para o Laboratório 2, provando que o procedimento é escalável em uma faixa substancial. Além disso, a boa correlação entre os resultados pode ser relacionada ao uso de dispositivos de alívio de pressão ajustados para valores típicos do transformador, não previsto no procedimento padrão. Esse dispositivo adicional preveniu aumentos anormais de pressão que poderiam afetar o processo de envelhecimento.

Em relação a comparação das séries de distribuição (razão de materiais para transformadores de distribuição) e potência (razão de materiais para transformadores de potência), a série de potência apresentou um percentual remanescente de resistência à tração substancialmente inferior à da série de distribuição nas temperaturas de envelhecimento utilizadas, 180 e 165 °C. Tais dados sugerem que a elevada proporção de *pressboard* de baixa densidade e o valor reduzido de óleo em comparação ao material sólido resultam numa maior degradação do sistema de referência. A comparação dos

papéis de diferentes fornecedores apontou algumas diferenças nos ensaios de resistência à tração, as quais não foram expressivas e os resultados apresentados indicam que o desempenho de todos os papéis foi similar.

Este estudo preliminar mostrou que o procedimento executado funcionou como esperado e que o teste do tubo selado (células de envelhecimento), conforme definido na norma IEEE Std C57.100:2011, é útil para a avaliação térmica da isolação sólida imersa em líquido isolante para transformadores de distribuição e de potência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradem à Evanne Wang e Robert R. Nunn da DuPont Energy Solutions, de Richmond, Virginia, USA, pela realização dos testes nos papéis kraft termoestabilizados novos e envelhecidos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Complete document abbreviations definitions active, most current item is contained in these sets standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting.** ASTM D882:2018. United States of America. a

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard practice for preparation of insulating paper and board impregnated with a liquid dielectric.** ASTM D2413:2016. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard test methods for moisture content of oil-impregnated cellulosic insulation.** ASTM D3277:2010. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Standard test method for tensile properties of paper and paperboard using constant-rate-of-elongation apparatus.** ASTM D828:2018. United States of America. b

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Measurement of the average viscometric degree of polymerization of new and aged cellulosic electrically insulating materials.** ABNT NBR IEC 60450:2009. Brasil.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYST CHEMICALS – AOAC. **Nitrogen determination by Kjeldahl Method.** AOAC 955.04D:2014. United States of America.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS- IEEE. **Standard for general requirements for liquid-immersed distribution, power, and regulation transformers.** IEEE Std C57.12.00:2015. United States of America.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERS- IEEE. **Standard test procedure for thermal evaluation of insulation systems for liquid-immersed distribution and power transformers.** IEEE Std C57.100:2011. United States of America.

LELEKAKIS, N., WIJAYA, J., MARTIN, D., SAHA T., SUSAN, D., KRAUSE, C. **Aging rate of grade 3 presspaper insulation used in power transformers.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, v. 21, n. 5, p. 2355-2362, 2014.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alumina 97, 99, 100, 101, 102, 105, 106, 107

Ansys 3, 17, 18, 120, 132, 135, 176

Armazenagem de grãos 66, 67, 68, 69, 81, 82, 83

B

Barragens de rejeito 158, 159, 164, 169, 170

Biomateriais 97, 98, 99, 106, 107

C

Concreto 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 31, 32, 33, 35, 39, 66, 69, 71, 75, 76, 80, 81, 82, 121, 170

Concreto armado 1, 2, 17, 18, 19, 33, 71, 76, 82

D

Descarte de lodo 136, 137, 139

Diseño 120, 121, 123, 124, 125, 128

E

Energia nuclear 58, 61

Ensaio de flexão de três pontos 1, 9, 16

Estabilidade 2, 99, 100, 136, 137, 147, 148, 149, 151, 153, 154, 156, 158, 159, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 192

Estructuras 82, 120, 123, 128

Etanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 212, 222, 226, 231

Extensômetro 171

F

Falhas térmicas 84, 85, 86, 87, 93

Fibra de coco babaçu 35

Flexión 120, 130, 131

Forjamento 172, 174, 178

Frequência de descarga 136, 142

G

Gases de falha 85

M

Metanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 224

Método numérico 2, 18

Microalgas 147, 148, 149, 156

Microfundido 172, 175, 178

O

Óleo isolante 84, 85, 86, 87, 92, 147

P

Pandeo 120, 134, 135

Papel kraft isolante 84, 85, 87, 198

Pó de ostra 40, 42, 44, 45, 46, 47, 49

Polipropileno 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 57, 209, 211, 217, 218, 219

Popularização da ciência 58

Preservação ambiental 40, 42

Propriedades mecânicas 26, 35, 39, 97, 101, 102, 202, 203, 204, 211

Prótese craniomaxilofacial 97

R

Reforço 35, 40, 45, 48, 56, 209, 210, 212, 219

Resistencia à compressão 35

Rigidez 45, 120, 127, 128, 153, 209, 223

Rod end 171, 172, 173, 174, 175, 178

S

Silo horizontal 66, 71, 72, 75, 76

Simulação numérica 1, 18, 19, 23, 31, 32, 33, 171, 176

Sismicidade 158, 159, 162, 167, 170

Sólidos sedimentáveis 136, 138, 139, 141, 145

T

Teatro científico 58, 59

Trabalhabilidade 35

V

Viga cilíndrica 18, 19, 20, 22, 27

Z

Zircônia 97, 100, 101, 102, 105, 107

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 