

Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2019

Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Atena
Editora
Ano 2019

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

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

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

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. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P474 Pesquisa científica e inovação tecnológica nas engenharias [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. – (Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias; v. 1)

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-85-7247-902-8
 DOI 10.22533/at.ed.028200601

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas.
 3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 1” contempla vinte e três capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas nas diversas áreas de engenharia.

Os resultados obtidos através de pesquisas científicas trazem benefícios a sociedade e promovem inovações tecnológicas, surgindo como uma engrenagem nas engenharias.

O estudo sobre o comportamento de determinados materiais sob determinadas situações permite avaliar e otimizar seu uso, proporcionando o controle das condições ideais, bem como viabilizando a utilização de determinadas matérias primas. Por sua vez, essas matérias primas podem trazer benefícios ao meio ambiente, bem como trazer resultados econômicos satisfatórios.

A avaliação de propriedades físicas e mecânicas de materiais permite também a sua utilização em diversos segmentos da engenharia, proporcionando o desenvolvimento de novos produtos, trazendo benefícios a sociedade.

Diante do exposto, esperamos que esta obra traga ao leitor conhecimento técnico de qualidade, fazendo com que o leitor reflita sobre o uso das pesquisas científicas e as inovações tecnológicas no desenvolvimento social, e faça uso dessas ferramentas na melhoria de qualidade de vida na sociedade.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
AÇÃO CORROSIVA DE SOLOS DO SUL DO BRASIL SOBRE ESTRUTURAS METÁLICAS	
Jessica Oliveira Ayres Matthews Teixeira Coutinho Devai Luciana Machado Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.0282006011	
CAPÍTULO 2	10
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PAINÉIS AGLOMERADOS CONFECCIONADOS COM PINUS, EUCALIPTO, BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DE ÓLEO DE MAMONA	
Estéfani Suana Sugahara Ana Laura Soler Cunha Buzo Raissa Pravatta Pivetta Sérgio Augusto Mello da Silva Elen Aparecida Martines Morales	
DOI 10.22533/at.ed.0282006012	
CAPÍTULO 3	21
ANÁLISE EXPERIMENTAL EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM LAMINADOS DE PRFC	
Nara Villanova Menon Maicon de Freitas Arcine Juliana Penélope Caldeira Soares	
DOI 10.22533/at.ed.0282006013	
CAPÍTULO 4	35
CARACTERIZAÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO DE FACHADA EM EDIFÍCIO LITORÂNEO COM EXPANSÃO, FISSURAÇÃO COM ESFARELAMENTO E BAIXA RESISTÊNCIA MECÂNICA: ESTUDO DE CASO	
Renato Freua Sahade Fabiano Ferreira Chotoli Sérgio Soares de Lima Priscila Rodrigues Melo Leal	
DOI 10.22533/at.ed.0282006014	
CAPÍTULO 5	45
CARACTERÍSTICAS E DESEMPENHO DA VERMICULITA NA CONSTRUÇÃO	
Paula Thais dos Santos Felix	
DOI 10.22533/at.ed.0282006015	
CAPÍTULO 6	55
PINUS E EUCALIPTO PARA CONSTRUÇÕES LEVES EM MADEIRA (WOODFRAME) NO BRASIL: COMPARATIVOS, POSSIBILIDADES E DESAFIOS	
Mirna Mota Martins Júlia Cruz da Silva Matheus Fernandes Lima Rita Dione Araújo Cunha	

CAPÍTULO 7 68

ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DO DESLIZAMENTO PINO SOBRE DISCO DO AÇO ISI 4140 X H13

Eric Elian Lima Espíndola
Andrey Coelho das Neves
Beatriz Seabra Melo
Vinicius Silva dos Reis
Milena Cristina Melo Carvalho
Brenda Thayssa Figueira Daniel
Rodrigo Ribeiro Lima
Edgar Costa Cardoso
Aécio de Jesus Monteiro dos Santos
Emerson Rodrigues Prazeres
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.0282006017

CAPÍTULO 8 81

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DO TIPO COSTANEIRAS DE CORYMBIA CITRIODORA PARA APLICAÇÃO EM MÓVEIS E COMPONENTES DECORATIVOS

Matheus Fernandes Lima
Mirna Mota Martins
Julia Cruz da Silva
Sandro Fábio Cesar
Rita Dione Araújo Cunha

DOI 10.22533/at.ed.0282006018

CAPÍTULO 9 94

AVALIAÇÃO DE PROJETOS DE PAINÉIS EM MADEIRA PARA REVESTIMENTO DE FACHADAS: RECOMENDAÇÕES PARA O DETALHAMENTO CONSTRUTIVO

Mônica Duarte Aprilanti
Simone Fernandes Tavares
Akemi Ino

DOI 10.22533/at.ed.0282006019

CAPÍTULO 10 108

COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL UTILIZANDO PLACAS DE SILICATO DE CÁLCIO DE ALTA DENSIDADE

Lilian Cristina Ciconello
Luciana Alves de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.02820060110

CAPÍTULO 11 121

INCIDÊNCIA DE DESCOLAMENTO EM REVESTIMENTOS CERÂMICOS ADERIDOS EM FACHADAS: CONTRIBUIÇÃO PARA O PROJETO E A PRODUÇÃO

Luciana Alves de Oliveira
Luciana Araújo Mauricio Varella
Renato Freua Sahade

DOI 10.22533/at.ed.02820060111

CAPÍTULO 12 133

COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS DO *Eucalyptus urograndis*: CORPOS DE PROVA ISENTOS DE DEFEITOS X PEÇAS ESTRUTURAIS

Fabiana Yukiko Moritani
Carlito Calil Junior

DOI 10.22533/at.ed.02820060112

CAPÍTULO 13 145

CROSS LAMINATED TIMBER VS CONCRETO: RESISTÊNCIA MECÂNICA A COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS E DENSIDADE

Aliane Cardoso de Almeida
Rafaele Almeida Munis
Jessé Salles Lara

DOI 10.22533/at.ed.02820060113

CAPÍTULO 14 158

DUREZA JANKA COMO ESTIMADOR DA DENSIDADE APARENTE E DAS RESISTÊNCIAS À FLEXÃO E COMPRESSÃO EM EUCALIPTO

Takashi Yojo
Cassiano Oliveira de Souza
Maria José de Andrade Casimiro Miranda
Sergio Brazolin

DOI 10.22533/at.ed.02820060114

CAPÍTULO 15 167

ESTUDO COMPARATIVO DOS EFEITOS DE NANOFIBRAS DE SÍLICA, OBTIDAS VIA SBS, E ARGILA MONTMORILONÍTICA EM POLIAMIDA 66

Edvânia Trajano Teófilo
Gabriel Lucena de Oliveira
Radamés da Silva Teixeira
Cláudio Bezerra Martins Júnior
Rosiane Maria da Costa Farias
Aline Vasconcelos Duarte
Ellen Cristine Lopes da Silva Bento
Raí Batista de Sousa
Francisco Diassis Cavalcante da Silva
Francisca Maria Martins Pereira

DOI 10.22533/at.ed.02820060115

CAPÍTULO 16 178

ESTUDO DAS FORÇAS DE CORTE NO MICROFRESAMENTO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO AISI 316L

Milla Caroline Gomes
Márcio Bacci da Silva

DOI 10.22533/at.ed.02820060116

CAPÍTULO 17 185

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE FORNO DIDÁTICO PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO

Carlos Eduardo Costa
Jefferson Maiko Luiz

Ivan Rodrigues dos Santos
Emerson da Silva Seixas
Milton Luis Polli

DOI 10.22533/at.ed.02820060117

CAPÍTULO 18 194

QUANTIFICAÇÃO DE HIDROGÊNIO EM CORPOS DE PROVA DE UM AÇO ARBL
PARA ENSAIOS DE PUNÇIONAMENTO ESFÉRICO

Luiz Fernando Maia de Almeida
Rosenda Valdés Arencibia
Sinésio Domingues Franco

DOI 10.22533/at.ed.02820060118

CAPÍTULO 19 200

METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA PRÉ-TRINCA POR FADIGA NO
ENSAIO SNTT

Guilherme Bernardes Rodrigues
Waldek Wladimir Bose Filho
Sinésio Domingues Franco
Rosenda Valdés Arencibia

DOI 10.22533/at.ed.02820060119

CAPÍTULO 20 206

BIOSSORÇÃO DE METAIS PESADOS UTILIZANDO A MICROALGA *Synechococcus
nidulans*

Juliana Silveira de Quadros
Paulo Fernando Marques Duarte Filho
Fernando Junges

DOI 10.22533/at.ed.02820060120

CAPÍTULO 21 216

DISTRIBUIÇÃO BIDIMENSIONAL DA PROFUNDIDADE DE MISTURA NO
RESERVATÓRIO DE LAJEADO, TOCANTINS

Marcelo Marques
Elaine Patricia Arantes
Fernando Oliveira de Andrade
Alexandre Kolodynskie Guetter
Cristhiane Michiko Passos Okawa
Isabela Arantes Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.02820060121

CAPÍTULO 22 227

ESTUDO PROSPECTIVO E TECNOLÓGICO DA GERAÇÃO DE SYNGAS
UTILIZANDO CATALISADORES

Munique Gonçalves Guimarães
Grace Ferreira Ghesti
Camila Lisdália Dantas Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.02820060122

CAPÍTULO 23 240

UTILIZAÇÃO DE PELÍCULAS COMESTÍVEIS NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MORANGOS

Tatiane Barbosa dos Santos

Matheus Luis Ferrari

Marcio Eduardo Hintz

João Paulo Brazão Gianini

Rafael Rodrigo Bombardelli

Idiana Marina Dalastra

DOI 10.22533/at.ed.02820060123

SOBRE A ORGANIZADORA..... 251

ÍNDICE REMISSIVO 252

METODOLOGIA PARA MONITORAMENTO DA PRÉ-TRINCA POR FADIGA NO ENSAIO SNTT

Data de aceite: 25/11/2019

Guilherme Bernardes Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

Waldek Wladimir Bose Filho

Escola de Engenharia de São Carlos –
Universidade de São Paulo, Faculdade de
Engenharia Mecânica
São Carlos – SP

Sinésio Domingues Franco

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

Rosenda Valdés Arencibia

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade
de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

RESUMO: O método SNTT (*Spiral Notch Torsion Test*) permite a determinação da tenacidade à fratura aplicando torção pura a um corpo de prova com entalhe em V e ângulo de passo de 45°. O método SNTT é relativamente novo e não conta com uma metodologia documentada que permita reproduzir o ensaio, conseqüentemente, o ensaio SNTT não é padronizado. Estes fatores têm contribuído para a não adoção do método por parte da comunidade científica, apesar

de seu potencial. Assim, o presente trabalho tem como objetivo descrever e documentar a metodologia do ensaio SNTT, isto é, como deve ser realizado o processo de pré-trincamento por fadiga, via modelos analíticos. Concluiu-se que por meio das equações apresentadas, é possível controlar o crescimento da trinca e prever seu comportamento durante o processo de abertura e propagação.

PALAVRAS-CHAVE: SNTT, Pré-trinca, Tenacidade à fratura.

METODOLOGY FOR FATIGUE PRE-CRACK MONITORING IN THE SNTT TEST

ABSTRACT: The Spiral Notch Torsion Test (SNTT) method allows the determination of the fracture toughness by applying pure torsion to a V-notch specimen with a 45° pitch angle. The SNTT method is relatively new and has no documented methodology to replicate the assay, therefore the SNTT test is not standardized. These factors have contributed to the non-adoption of the method by the scientific community, despite its potential. Thus, the present work aims to describe and document the methodology of the SNTT test, that is, how the fatigue pre-cracking process should be performed via analytical models. It was concluded that through the presented equations, it is possible to control the crack growth and

predict its behavior during the opening and propagation process.

KEYWORDS: *SNTT, Pre-crack, Fracture toughness.*

1 | INTRODUÇÃO

A tenacidade à fratura dos materiais tem se destacado no cenário técnico-científico, em decorrência de sua utilidade na previsão do comportamento do material e na prevenção da ocorrência de falhas estruturais. A tenacidade à fratura é definida por diferentes normas dependendo do tipo de material ou geometria de corpo de prova. Para metais ela é geralmente definida pelas ASTM E399-90 (ASTM, 2019) ou ainda pela ASTM 1820 (ASTM, 2019) e deve ser entendida como a propriedade que estabelece a capacidade que o material dispõe de resistir à propagação de trincas.

No início do século XX, vários métodos que objetivavam a estimativa dessa propriedade foram desenvolvidos, dentre eles o método de tensão compacta, o por flexão de três pontos, dentre outros. Esses métodos foram padronizados, posteriormente, pela norma ASTM E399-90 (ASTM, 2019). Entretanto, esses métodos convencionais possuem limitações significativas, principalmente no que se refere às dimensões dos corpos de prova a serem ensaiados, as quais devem ser suficientes para garantir a dominância de um estado plano de deformação na frente da trinca (Wang et al., 2004).

Para superar essas limitações Wang et al. (2002) desenvolveram um método alternativo capaz de estimar a tenacidade à fratura (*Spiral Notch Torsion Test – SNTT*) aplicando torção pura em corpos de prova cilíndricos com um entalhe em V sob um ângulo de 60° e ângulo de passo de 45° (Fig. 1).

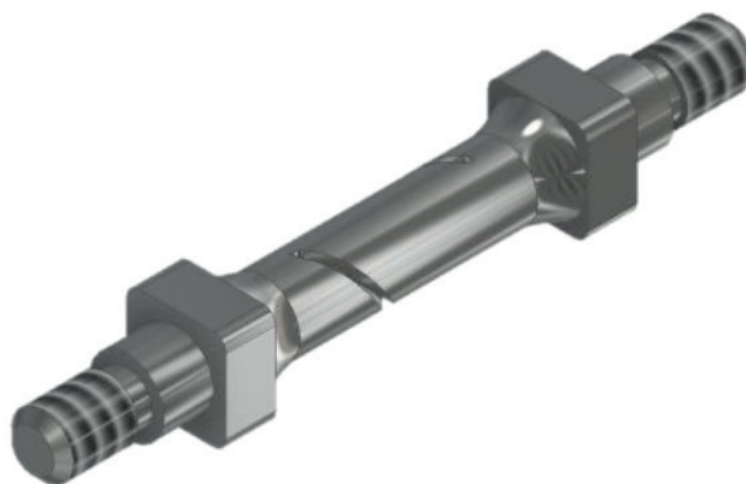


Figura 1: Desenho 3D do corpo de prova SNTT.

A torção pura estabelece um campo de tensão de tração/compressão equibiaxial uniforme desenvolvendo, portanto, efetivamente um Modo I de falha

(modo de abertura). Dessa forma, é possível gerar um valor de tenacidade à fratura intrínseca do material testado, eliminando o efeito das dimensões do corpo de prova e estabelecendo um método de teste mais confiável, econômico e capaz de ter uma propagação de trinca consistente e estável.

Wang et al. (2014) obtiveram, por meio de simulações numéricas, equações para determinar a tenacidade à fratura dos materiais nos testes SNTT. A partir destas simulações numéricas foram desenvolvidas equações analíticas da flexibilidade elástica e da tenacidade à fratura, que tiveram as suas robustezes confirmadas por ensaios experimentais, sendo necessário o conhecimento do torque e do ângulo de torção no instante em que o corpo de prova fratura. Entretanto, antes de realizar o ensaio SNTT, é necessário submeter o corpo de prova a ciclos de fadiga, objetivando a nucleação e crescimento de uma pré-trinca por fadiga a partir do entalhe helicoidal.

Vale ressaltar que o entendimento e aplicação deste método apresentam limitações significativas, pois não se dispõe de uma metodologia documentada de forma detalhada nem de normas técnicas sobre este tipo de ensaio. Ainda, os trabalhos publicados posteriormente à criação do método carecem de clareza dificultando a reprodução do ensaio. Desta forma, a obtenção de resultados de ensaios SNTT confiáveis se torna bastante limitada. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo descrever a metodologia a ser adotada ao longo do processo de pré-trincamento por fadiga, via modelos analíticos apresentados por Wang et al. (2014).

2 | MODELOS ANALÍTICOS PARA ENSAIO SNTT

Wang et al. (2000), no início do estudo do método SNTT, utilizaram os *softwares* PATRAN e ABAQUS no desenvolvimento de uma malha tridimensional para análise do corpo de prova e do crescimento da trinca durante o ensaio. O objetivo desse estudo era identificar como ocorria o crescimento da trinca e as principais variáveis de influência na mesma. Porém os resultados obtidos inicialmente não foram considerados satisfatórios por não garantirem o requisito de se ter Modo I puro.

Em trabalhos mais recentes (WANG et al., 2012; WANG et al., 2014) apresentaram detalhes sobre os procedimentos do ensaio SNTT. Dentre as informações apresentadas pode ser citado o uso de um cilindro cujo valor de altura h foi estabelecido sendo um-oitavo do comprimento do passo do entalhe do corpo de prova SNTT (p). Essa relação de um-oitavo visa garantir um ângulo de passo do entalhe no cilindro, θ_h , de 45° , como mostra a Eq. (1).

$$\theta_h = 2\pi \frac{h}{p} = 2\pi \left(\frac{1}{8} \right) = \frac{\pi}{4} \quad (1)$$

Wang et al. (2014) com as simulações realizadas no cilindro, obtiveram equações capazes de descrever o comportamento da taxa de liberação de energia durante o ensaio SNTT (G) e da deformação angular de cada elemento finito do cilindro (γ) (Eqs. (2) e (3)). Vale ressaltar que essas equações são válidas para relações $\frac{a}{D}$ de 0,1 a 0,45.

$$\frac{\gamma}{T} \mu \left(1 - \frac{a}{D}\right)^4 = 3,3445 \left(\frac{a}{D}\right)^4 - 5,2514 \left(\frac{a}{D}\right)^3 + 4,0568 \left(\frac{a}{D}\right)^2 - 2,2298 \left(\frac{a}{D}\right) + 0,6226 \quad (2)$$

$$\frac{GA}{T\theta \left(1 - \frac{a}{D}\right)^2} = -154,56 \left(\frac{a}{D}\right)^4 + 188,95 \left(\frac{a}{D}\right)^3 - 62,398 \left(\frac{a}{D}\right)^2 + 20,626 \left(\frac{a}{D}\right) - 0,4716 \quad (3)$$

Nas Equações (2) e (3), a é o comprimento total da trinca, D é o diâmetro do corpo de prova, T é o torque aplicado, θ é o ângulo de torção total do cilindro e μ é o módulo de cisalhamento do material do corpo de prova.

De acordo com Wang et al. (2000), é possível relacionar o fator de intensidade de tensão com a taxa de liberação de energia para cada um dos modos de fratura (Eq. 4). Ainda, sabe-se que para um material com comportamento elástico linear o valor de G é igual ao valor da integral J .

$$G = K^2 \frac{(1 - \nu^2)}{E} \quad (4)$$

De posse das Eqs. (2) e (3), de acordo com Wang et al. (2014), é possível estimar o valor de G e, aplicando a Eq. (4), o valor de K_{IC} pode ser calculado. Nesse caso, como houve a garantia de que o valor do ângulo de passo do entalhe era de 45° e a torção aplicada foi pura, se desenvolveu um modo I puro de fratura, e consequentemente, se garante que o valor estimado é a tenacidade à fratura do material.

3 | METODOLOGIA

Inicialmente, é necessário conhecer as propriedades mecânicas do material ensaiado (limite de escoamento, módulo de cisalhamento, coeficiente de Poisson e, principalmente, o valor teórico da tenacidade à fratura), bem como a geometria do corpo de prova SNTT testado. Para tanto foi considerado um corpo de prova de aço AISI 4340 fabricado com um entalhe de profundidade igual a $0,1 D$. Tendo em vista que o comprimento da trinca no início do processo é igual à profundidade do entalhe, a relação inicial $\frac{a}{D}$ é igual a 0,1. É desejável ao final da pré-trinca por fadiga que o comprimento da mesma seja $0,3 D$. Vale ressaltar que a relação $\frac{a}{D}$ é definida pelo

operador, desde que a mesma se encontre entre 0,1 e 0,45.

De posse das Eqs. (2) e (3), estima-se o torque necessário para desenvolver na ponta da trinca um K_{IC} máximo equivalente a 60 % do valor teórico da tenacidade à fratura, procedimento esse recomendado pela norma ASTM E399-90 (ASTM, 2019). A seguir são definidos os valores de torque do ciclo de fadiga (Eq. (5)) e o valor do ângulo de torção que o corpo de prova SNTT estará submetido ao final da pré-trinca (esse valor está diretamente ligado à relação $\frac{a}{D}$ desejada e é o critério de parada do processo).

$$T_{m\acute{a}x} = T_{estimado} = 10T_{m\acute{i}n} \quad (5)$$

Durante o ensaio, mede-se então o ângulo de torção do corpo de prova. À medida que a trinca cresce, o valor de $\frac{a}{D}$ progride de 0,1 a 0,3. Sabe-se que quando a trinca atingir o comprimento desejável, isto é, $\frac{a}{D} = 0,3$, o ângulo de torção medido será igual ao valor definido previamente (critério de parada), e, portanto, finaliza-se o processo de pré-trincamento. O fluxograma mostrado na Fig. (2) resume a metodologia aplicada ao processo de pré-trinca do corpo de prova SNTT.

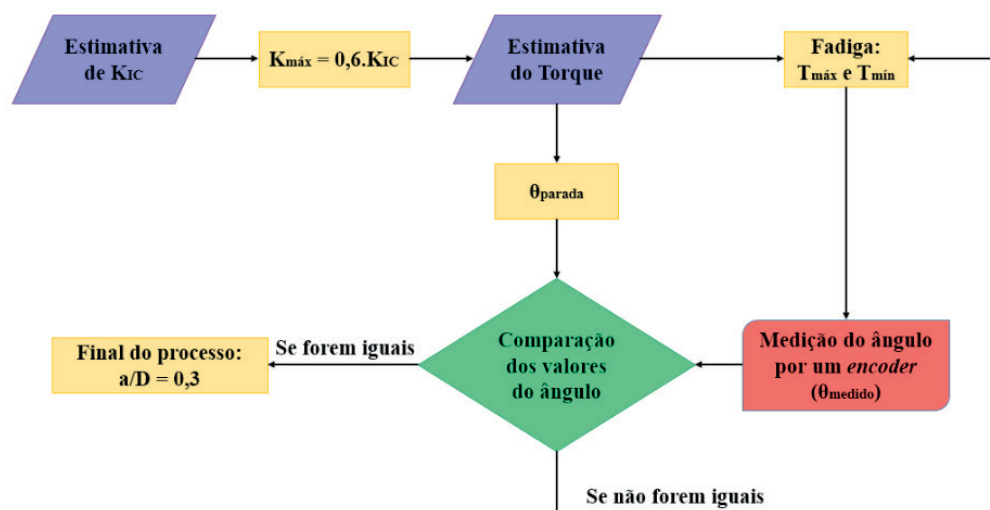


Figura 2: Fluxograma da metodologia do processo de pré-trinca por fadiga de corpos de prova SNTT.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, ao CNPQ, à FAU e à PETROBRAS pelo suporte financeiro.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

REFERÊNCIAS

ASTM E399-90, 2019. “**Standard Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials**”. West Conshohocken: American Society for Testing Materials.

ASTM E1820-01, 2019. “**Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness**”. West Conshohocken: American Society for Testing Materials.

Wang, J. A.; Liu K. C.; McCabe, D. E.; 2002. “**An Innovative Technique for Measuring Fracture Toughness of Metallic and Ceramic Materials**”, Fatigue and Fracture Mechanics: 33rd Volume, W. G. Renter and R. S. Piascik, Eds., ASTM International, West Conshohocken, PA.

Wang, J. A., Ren, F.; Tin, T. Liu, K. C., 2014. “**The development of in situ fracture toughness evaluation techniques in hydrogen environment**”, International Journal of Hydrogen Energy. Vol. 40, No 4, pp. 2013-2024.

Wang, J. A.; TAN, T.; Jiang, H.; Zhang, W.; Feng, Z.; “**Developing Fatigue Pre-crack Procedure to Evaluate Fracture Toughness of Pipeline Steels Using Spiral Notch Torsion Test**”. Oak Ridge National Laboratory, Aug, 2012.

SOBRE A ORGANIZADORA

Franciele Braga Machado Tullio - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aço inoxidável 178, 181
Aproveitamento de costaneira 81
Argamassa de revestimento 35, 36, 42, 44, 45
Argila montmorilonítica 167, 168

C

Carga normal 68, 71, 73, 74, 75, 77, 78, 79
Cisalhamento 21, 23, 24, 27, 31, 32, 33, 34, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 203, 217
CLT 97, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 155, 156, 157
Coeficiente de atrito 68, 71, 73, 74, 79
Comparação 7, 13, 14, 23, 40, 56, 57, 58, 61, 63, 73, 75, 77, 78, 79, 86, 133, 135, 140, 145, 206, 209, 244, 245, 247
Compartimentação horizontal 108, 110, 111, 118
Compressão 24, 25, 28, 29, 33, 48, 114, 115, 135, 137, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 164, 165, 166, 201
Concreto 21, 22, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 61, 97, 117, 118, 123, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 190
Concreto armado 21, 22, 23, 33, 34, 37, 123, 148, 156, 157
Conforto acústico 45
Conforto térmico 45, 47, 50, 53, 122
Construção civil 12, 18, 22, 23, 36, 44, 45, 49, 50, 51, 52, 55, 56, 57, 59, 65, 96, 97, 98, 108, 110, 128, 132, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 156, 187
Construções leves 55, 56, 60, 61, 65, 66
Corrosão 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 23, 112, 113, 181, 195
Corymbia citriodora 81, 82, 83, 84, 85, 92, 93
Cura 15, 22, 35, 43, 44, 145, 152, 156

D

Densidade 5, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 47, 51, 63, 108, 110, 111, 113, 114, 115, 145, 149, 150, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 165, 166, 187, 190, 191, 207
Descolamento 31, 32, 33, 38, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 132
Desgaste deslizante 68, 76
Detalhe construtivo 94
Durabilidade 36, 50, 56, 57, 64, 94, 96, 97, 98, 99, 103, 106, 107, 115, 122
Dureza Janka 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166

E

Eletroquímica 1, 2, 196, 197
Ensaio de caracterização 35, 39, 40, 42

Escória 35, 41, 43, 44, 188

Eucalipto 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 82, 93, 101, 136, 144, 148, 158, 159, 160, 161

F

Fachadas de edifícios 121, 123, 132

Fachadas em madeira 94, 95, 96, 100

Fiação por sopro em solução 167, 168, 169, 170, 171, 176

Flexão 10, 13, 17, 21, 24, 31, 32, 114, 135, 136, 137, 141, 142, 143, 158, 159, 160, 161, 163, 164, 165, 166, 201

Forças de corte 178, 179, 180, 181, 183

Forno didático 185, 191, 192

M

Madeira 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 52, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 119, 129, 133, 134, 135, 139, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 156, 157, 158, 159, 160, 163, 164, 165, 166

Manifestação patológica 35

Materiais alternativos 19, 45, 47

Materiais compósitos de PRFC 21

Metal 1, 2, 5, 6, 178, 180, 181, 182, 206, 207, 210, 212, 213, 214, 215, 229

Microfresamento 178, 180, 181, 183

Microusinagem 178, 179, 180, 181

N

Nanofibras de sílica 167, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 177

P

Painéis de madeira 11, 18, 19, 20, 81, 83, 97, 157

Parede corta-fogo 108, 119

Patologia 121, 123

Pinus 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 101, 143, 144, 145, 151

Poliamida 66 167, 168, 170, 173, 174, 175

Prática acadêmica 185

Processo de fundição 185

Projeto de revestimento 121

Proteção contra incêndio 108

R

Reforço estrutural 21, 22, 25

Resíduo de madeira 81, 92

Revestimento cerâmico 121, 122, 126, 128, 130, 132

Revestimento em madeira 94

S

Sistema construtivo em placas de silicato de cálcio 108

Solo 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 65, 100, 134, 231

T

Tecnologia de vedações verticais leves 108

Tubulação 1

V

Vermiculita 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53

Vigas 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 37, 114, 123

W

Wood frame 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

