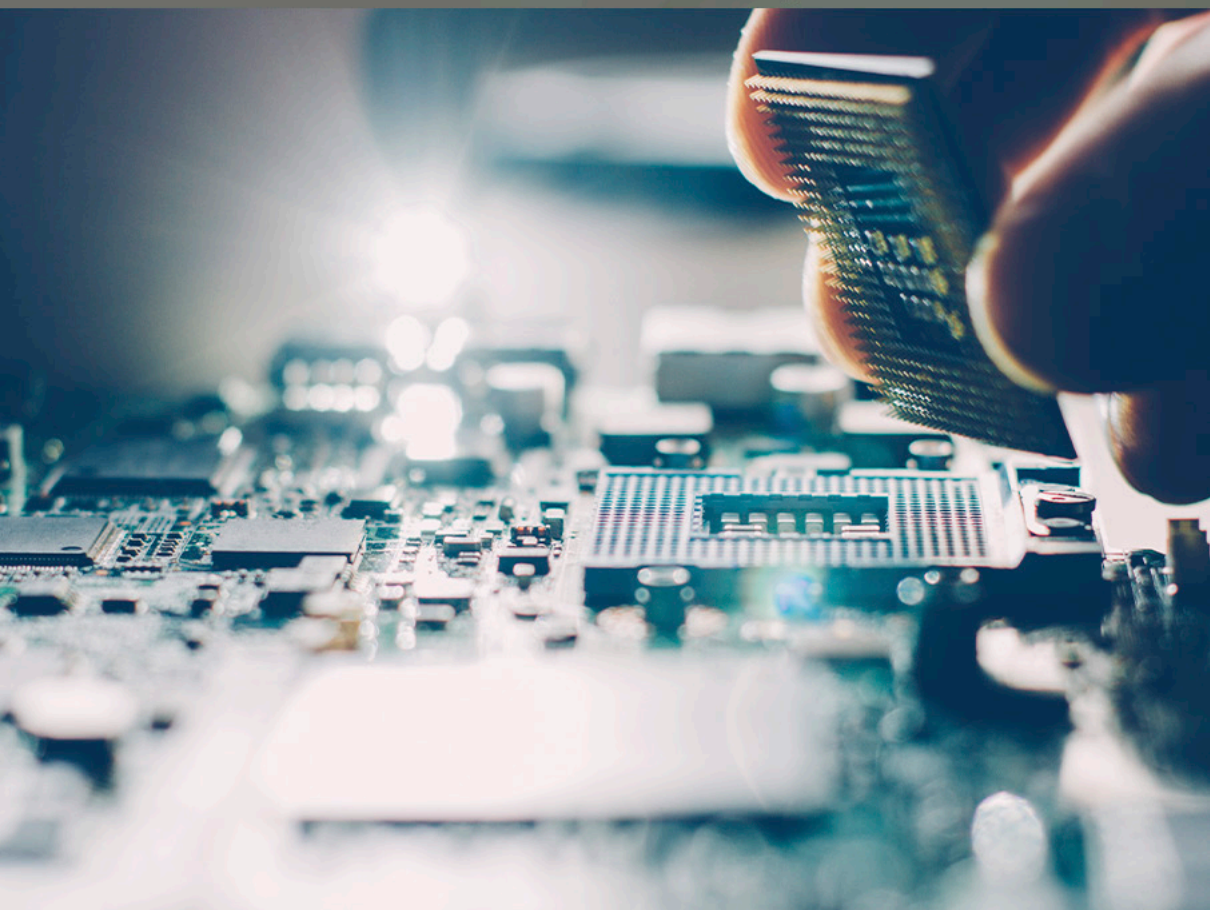


COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3

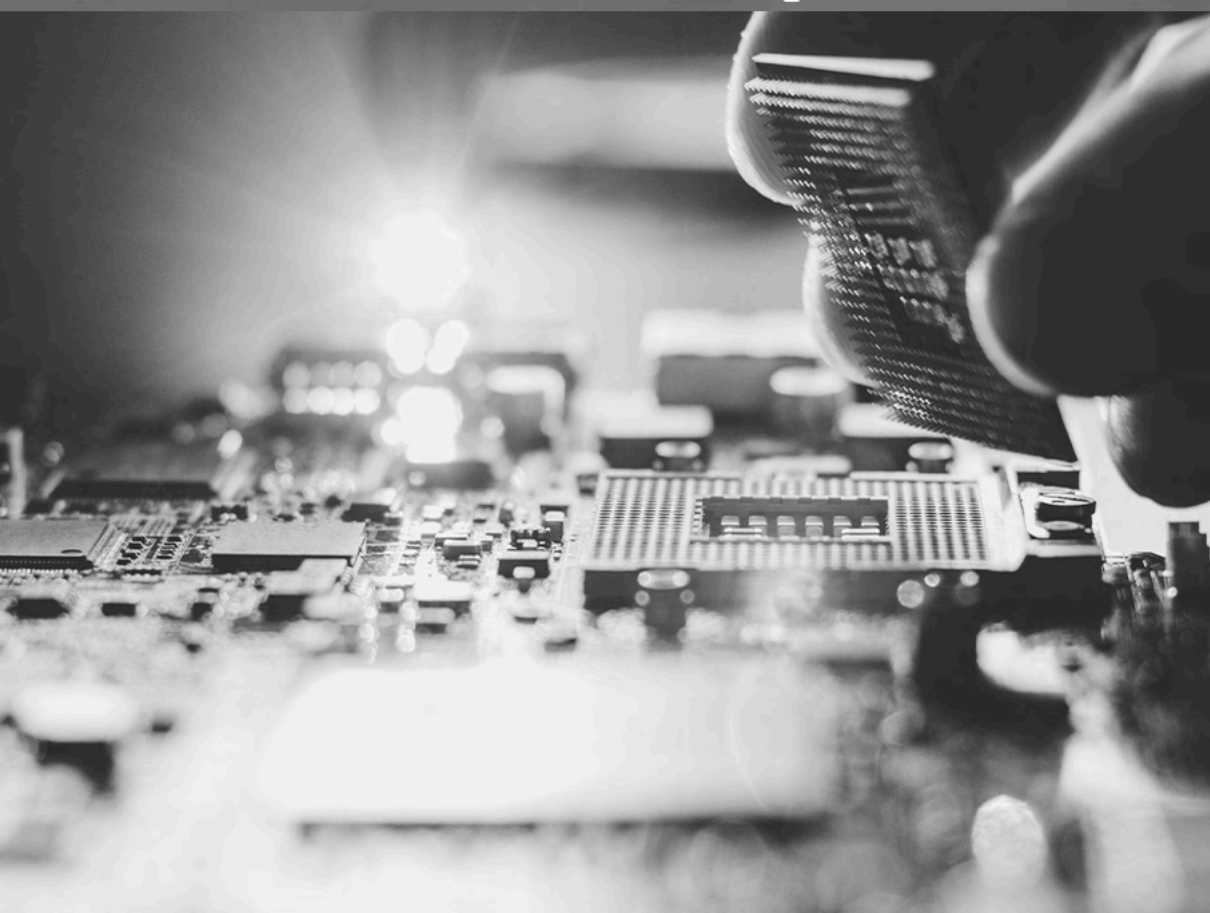


LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3



LILIAN COELHO DE FREITAS
(ORGANIZADORA)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

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.

Open access publication by Atena Editora



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 Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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
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. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Gabriel Motomu Teshima
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Lilian Coelho de Freitas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 3 / Organizadora Lilian Coelho de Freitas. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-619-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.192212911>

1. Engenharia de computação. I. Freitas, Lilian Coelho de (Organizadora). II. Título.

CDD 621.39

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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

A Atena Editora tem a honra de presentear o público em geral com a série de *e-books* intitulada “*Coleção desafios das engenharias: Engenharia de computação*”. Em seu terceiro volume, esta obra tem o objetivo de divulgar aplicações tecnológicas da Engenharia de Computação na resolução de problemas atuais, com o intuito de facilitar a difusão do conhecimento científico produzido em várias instituições de ensino e pesquisa do país.

Organizado em 20 capítulos, este volume apresenta temas como utilização de aprendizagem de máquina na avaliação de riscos de infecção por COVID-19; dispositivos automatizados para administração de remédios; comunicação científica apoiada por realidade aumentada; métodos de elementos finitos aplicados na análise de materiais para indústria aeronáutica; aplicações de processamento digital de imagens e de algoritmos genéticos; entre diversas outras aplicações da automação e do desenvolvimento de *software*, combinados para melhorar as atividades do nosso dia-a-dia.

Dessa forma, esta obra contribuirá para aprimoramento do conhecimento de seus leitores e servirá de base referencial para futuras investigações.

Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção deste trabalho.

Boa leitura.

Lilian Coelho de Freitas

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

EVALUATING THE RISK OF COVID-19 INFECTION BASED ON MACHINE LEARNING OF SYMPTOMS AND CONDITIONS VERSUS LABORATORY METHODS


Daniel Mário de Lima
João Henrique Gonçalves de Sá
Ramon Alfredo Moreno
Marina de Fátima de Sá Rebelo
José Eduardo Krieger
Marco Antonio Gutierrez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129111>

CAPÍTULO 2..... 16

DISPOSITIVO AUTOMATIZADO PARA ADMINISTRAÇÃO DE REMÉDIOS


João Roberto Silva Teixeira
Alessandro Mainardi de Oliveira
Ricardo Neves de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129112>

CAPÍTULO 3..... 22

INTEGRAÇÃO ENTRE DADOS TEXTUAIS DE PRONTUÁRIOS ELETRÔNICOS DO PACIENTE (PEPS) E TERMINOLOGIAS CLÍNICAS


Amanda Damasceno de Souza
Eduardo Ribeiro Felipe
Fernanda Farinelli
Jeanne Louize Emygdio
Lívia Marangon Duffles Teixeira
Maurício Barcellos Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129113>

CAPÍTULO 4..... 35

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF A ENRICHED MIXED FINITE ELEMENT METHOD WITH STATIC CONDENSATION FOR POISSON PROBLEMS

Ricardo Javier Hanco Ancori
Jose Diego Ayñayanque Pastor
Rómulo Walter Condori Bustincio
Eliseo Daniel Velasquez Condori
Roger Edwar Mestas Chávez
Fermín Flavio Mamani Condori
Jorge Lizardo Díaz Calle


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129114>

CAPÍTULO 5..... 45

COMPORTAMENTO DE PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ANÁLISE NUMÉRICA

Jean Marie Désir


Luana Zanin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129115>

CAPÍTULO 6..... 58

COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA APOIADA POR REALIDADE AUMENTADA: O CASO DO APLICATIVO AUMENTANDO KIRIMURÊ


Vinícius Pires de Oliveira
Fernanda Vitória Nascimento Lisboa
Jéssica Duarte Souza
Brisa Santana Brasileiro
Hilma Maria Passos de Oliveira
Ingrid Winkler
Andrea de Matos Machado
Karla Schuch Brunet

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129116>

CAPÍTULO 7..... 64

CONTEXTUALIZAÇÃO DO CPS DE UMA CÉLULA ROBÓTICA, ATRAVÉS DO GÊMEO DIGITAL UTILIZANDO PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO OPC UA


Rogério Adas Pereira Vitalli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129117>

CAPÍTULO 8..... 75

DESENVOLVIMENTO DE UMA ARQUITETURA DE SOFTWARE BASEADA EM CENÁRIOS ARQUITETURAIS, MEMORANDOS TÉCNICOS E VISÕES DO MODELO 4+1


Everson Willian Pereira Bacelli
Bruno Ferreira Cardoso
Wilson Vendramel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129118>

CAPÍTULO 9..... 90

DEVELOPMENT OF AN AIDING TOOL FOR THE OPTIMAL DETAIL OF ACTIVE REINFORCEMENT USING GENETIC ALGORITHM

Victória Carino Neves
Guilherme Coelho Gomes Barros







 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1922129119>





CAPÍTULO 10..... 106

ANÁLISE DOS EFEITOS DA MÉTRICA DE DISTÂNCIA NA EXTRAÇÃO DE CONJUNTOS DE SIMILARIDADE

André Eduardo Alessi
Bruno Duarte
Ives Renê Venturini Pola
Dalcimar Casanova
Marco Antonio de Castro Barbosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291110>

CAPÍTULO 11	119
ESTUDO SOBRE AUTOMATIZAÇÃO DE EQUIVALÊNCIA DE FUNÇÕES	
Lucas Fernando Frighetto Fábio Hernandez	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291111	
CAPÍTULO 12	142
ESTUDO SOBRE O CONTROLE REMOTO DE DISPOSITIVOS MICROCONTROLADOS UTILIZANDO DISPOSITIVOS MÓVEIS	
João Vítor Fernandes Dias Fermín Alfredo Tang Montané	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291112	
CAPÍTULO 13	163
HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS APLICADAS EN EL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA EN LA MODALIDAD A DISTANCIA	
Liliana Eneida Sánchez Platas Celia Bertha Reyes Espinoza Olivia Allende Hernández	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291113	
CAPÍTULO 14	174
HISTÓRICO DAS MULHERES NA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E ANÁLISE DA PARTICIPAÇÃO FEMININA NOS CURSOS SUPERIORES DO BRASIL	
Vívian Ludimila Aguiar Santos Thales Francisco Mota Carvalho Maria do Socorro Vieira Barreto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291114	
CAPÍTULO 15	186
IDENTIFICAÇÃO DO MODELO DINÂMICO DE UMA TURBINA EÓLICA: ESTUDO DE CASO DA NORDTANK NTK 330F	
Gustavo Almeida Silveira de Souza Edgar Campus Furtado Leandro José Evilásio Campos Cristiane Medina Finzi Quintão	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291115	
CAPÍTULO 16	199
COMFORT IN VIBRATIONS FOR THE STEEL-CONCRETE COMPOSITE FLOORS: AN APPRAISAL FOR REVIEW OF ABNT NBR 8800:2008	
João Vitor V. Freire André V. Soares Gomes Adenílcia Fernanda G. Calenzani Johann A. Ferrareto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291116	

CAPÍTULO 17	224
FINITE ELEMENT METHOD APPLIED TO MECHANICAL ANALYSIS OF AERONAUTICAL RIBS IN CARBON FIBER AND 7075 ALUMINUM ALLOY	
Alex Fernandes de Souza	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291117	
CAPÍTULO 18	236
MÉTODO PARA CALCULAR A ÁREA DE SUPERFICIAL DE RAÍZES POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	
Marcio Hosoya Name	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291118	
CAPÍTULO 19	244
LOCAL MESHFREE METHOD OPTIMIZATION WITH GENETICALGORITHMS	
Wilber Vélez	
Flávio Mendonça	
Artur Portela	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291119	
CAPÍTULO 20	258
NAVEGACIÓN VIRTUAL 2D Y 3D EN UN ENTORNO WEB	
Víctor Tomás Tomás Mariano	
Felipe de Jesús Núñez Cárdenas	
Jorge Hernández Camacho	
Isaura Argüelles Azuara	
Guillermo Canales Bautista	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.19221291120	
SOBRE A ORGANIZADORA	268
ÍNDICE REMISSIVO	269

COMPORTAMENTO DE PAREDE DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO: ANÁLISE NUMÉRICA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 06/08/2021

Jean Marie Désir

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS), Engenharia Civil
Porto Alegre, RS
<https://orcid.org/0000-0002-0790-7065>

Luana Zanin

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS), Engenharia Civil
Porto Alegre, RS
<http://lattes.cnpq.br/9272980925441875>

RESUMO: Os elevados custos de vários incêndios levaram a considerar estes sinistros como eventos evitáveis e a segurança, prevenção e proteção contra incêndio é abordada cada vez com mais rigor nas normas e leis, fixando requisitos (NBR 14432:2000) a serem garantidos por procedimentos de ensaios (NBR 5628:2012). A integridade estrutural deve ser garantida por um determinado TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo). Infelizmente, existem poucos registros de testes, em escala real, com o elemento estrutural nas condições de serviço, ou seja, interagindo com o resto da estrutura. Este trabalho analisa dois aspectos do comportamento ao fogo de parede de alvenaria. Por um lado, é simulado numericamente, o ensaio de resistência ao fogo através de uma análise de fluxo de calor para descrever a evolução do campo de temperaturas na seção transversal da

parede. Depois o acoplamento termomecânico da parede é analisado tanto nas condições de ensaio como nas condições em serviço. Para isso, foram idealizados alguns pórticos, de dois pavimentos, em diferentes cenários de incêndio. Definido o perfil do fluxo de calor entre face aquecida e face não exposta, analisam-se as tensões e deformações de uma parede para avaliar sua influência no comportamento global do pórtico.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência ao fogo, alvenaria estrutural, acoplamento termomecânico

NUMERICAL ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF STRUCTURAL MASONRY WALL UNDER STRUCTURAL FIRE

ABSTRACT: The high costs of several fires have led to these accidents being considered preventable events and fire safety, prevention and protection are increasingly addressed in standards and laws, setting requirements (NBR 14432: 2000) to be guaranteed by test procedures (NBR 5628: 2012). Structural integrity must be guaranteed by a given TRRF (required fire resistance time). Unfortunately, there are few records of full-scale tests, with the structural element in service conditions, that is, interacting with the rest of the structure. This work analyzes two aspects of the fire behavior of masonry walls. First, the fire resistance test is numerically simulated by a heat flow analysis to describe the evolution of the temperature field in the cross section of the wall. Next, the thermomechanical coupling of the wall is analyzed both under test conditions and under service conditions. For this, a two-story frame has been analyzed in different fire scenarios. After

having defined the thermal flow profile between the heated face and the unexposed face, the stresses and strains of a wall are analyzed to assess their influence on the overall behavior of the frame.

KEYWORDS: Fire resistance, structural masonry, thermomechanical coupling

1 | INTRODUÇÃO

As simulações numéricas realizadas no âmbito deste trabalho visam analisar o comportamento mecânico de paredes de alvenaria em situações de incêndio onde ocorre elevação brusca de temperatura. Atualmente, as normas analisam a resistência ao fogo de paredes de alvenaria através de três critérios: resistência estrutural, estanqueidade e isolamento. A norma ABNT (NBR 5628:2012) estabelece os procedimentos para a realização dos ensaios pertinentes para garantir que os elementos construtivos de edificações, testado isoladamente, cumprem com as exigências de resistência ao fogo estipulada na ABNT (NBR 14432:2000). Procura-se garantir a integridade estrutural estabelecendo um determinado TRRF (tempo requerido de resistência ao fogo).

Na prática, a realidade é bem diferente. Por um lado, os ensaios são realizados em elementos isolados que não se encontram necessariamente nas condições que estarão trabalhando em serviço. O outro problema é o custo, tanto para a montagem de laboratórios adequados quanto para a realização dos mesmos. Adicionalmente, ao contrário do concreto comum, armado ou protendido, cujo comportamento ao fogo já foi estudado por meio de diversos ensaios com resultados amplamente disseminados e que levaram a um conhecimento razoável de sua resistência residual em situação de incêndio, poucos foram os estudos foram realizados no que tange a verificação das estruturas de alvenaria pós ocorrência de incêndio.

A ABNT (NBR 15200:2012), elaborada a partir do EuroCode 2 (2002), e adaptada à realidade brasileira, estabelece os critérios de projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. A ação de incêndio é definida a partir do calor transmitido a cada elemento estrutural durante o TRRF para um incêndio padrão. A ABNT (NBR14432:2000) recomenda, como curva temperatura-tempo padrão, a curva da International Organization for Standardization ISO 834-1 (1999) que é descrita pela Eq. (1) onde t é o tempo em minutos; q_0 é a temperatura do ambiente tomada igual a 20 °C, e q_g é a temperatura, em °C no instante t . A Figura1 mostra a curva correspondente.

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (1)$$

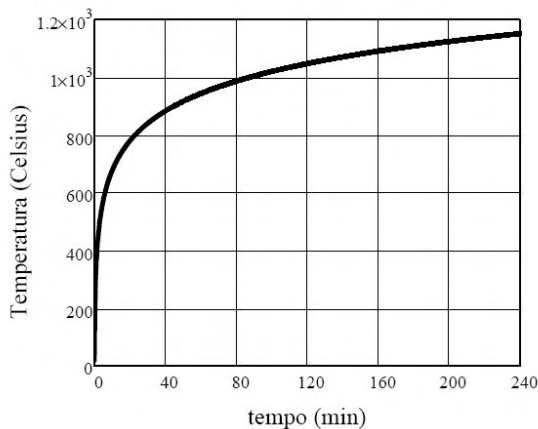


Figura 1 - Curva de incêndio padrão segundo ISO 834: 1999

A ABNT (NBR 15200:2012) recomenda, de uma maneira mais geral, que o dimensionamento considere as combinações de ações em situação de incêndio e que as solicitações sejam determinadas por métodos não-lineares capazes de captar as redistribuições de esforços.

2 | ANÁLISE TERMOMECÂNICA

Neste contexto, as simulações numéricas aparecem como uma forma de contornar as limitações de falta de ensaios em escala reais, atendendo, contudo, os diferentes aspectos apontados pela norma. Em situação de incêndio tem-se um gradiente forte de temperatura entre face exposta e não exposta que provoca alongamentos diferenciais entre os dois lados resultando na curvatura observada na face exposta (Cooke, 1988). As altas temperaturas na face exposta afetam as propriedades do material provocando uma redução da espessura efetiva. Os deslocamentos e a degradação dos materiais podem levar ao colapso do elemento estrutural. Vários pesquisadores propuseram modelos para uma análise que considere estes aspectos (Nadjai et al., 2003; Nguyen et al., 2009).

Este trabalho propõe um procedimento de análise que inclui os diferentes aspectos destacados pela norma brasileira. A análise é conduzida em várias etapas que procuram reproduzir as condições nas quais se encontra uma parede em uma situação de incêndio.

2.1 Curva de aquecimento do ensaio

Um incêndio real provoca uma curva de aquecimento que depende sobretudo das características da carga de incêndio e das condições de ventilação do local, de tal forma que as curvas reais de aquecimento diferem da curva padrão da Fig. 1. Para o ensaio descrito na ABNT (NBR 5628:2012), o aquecimento no interior do forno é proporcionado

por queimadores que liberam quantidades pré-definidas de calor por m². As temperaturas são obtidas com termopares posicionados adequadamente no interior do recinto do forno. Este processo é simulado com o programa FDS© (Fire Dynamics Simulator).

O FDS usa um modelo computacional de dinâmica de fluidos (CFD) que resolve numericamente uma forma das equações de Navier-Stokes para baixa velocidade de fluxo de calor, com ênfase na fumaça e no calor transportado durante o incêndio, para descrever a evolução do fogo. Resolve-se um problema de conservação de massa em um ambiente dividido em sub-volumes aos quais são aplicadas as equações de Navier-Stokes (Forney, 2005). A forma vetorial apresentada na Eq. (2), resulta da substituição da tensão devida ao escoamento do fluido na equação de conservação de massa e depende da densidade ρ do fluido, da força \mathbf{f} por unidade de massa, do vetor velocidade \mathbf{v} e da pressão p do fluido.

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \rho \mathbf{f} - \nabla p + \nabla \cdot \left(\mu \left\{ [\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T] - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{v}) \mathbf{I} \right\} \right) \quad (2)$$

A modelagem por sub-volumes requer, em geral, um alto custo computacional. Neste trabalho, para reduzir o tempo de processamento, as paredes do forno são consideradas inertes, não se aquecem. As temperaturas registradas por termopares posicionados em diferentes pontos na altura do forno permitem observar se a dinâmica do ensaio de paredes se aproxima a um modelo de camadas (Jones et al., 2005).

2.2 Efeito das altas temperaturas

A simulação do forno com o Pyrosim\FDS fornece a curva de temperatura-tempo ao qual a face exposta da parede se encontra submetida. É necessário analisar a transferência térmica através da parede para estabelecer a evolução, no tempo, do campo das temperaturas na seção transversal da mesma. A forma de definir a transferência de calor entre o meio ambiente e a estrutura é um aspecto importante na análise de fluxo de temperatura. Este processo envolve em menor ou maior grau as três formas de transmissão de calor: condução, convecção e radiação. Nesta análise consideram-se principalmente a transferência por condução e convecção. Dentro deste contexto, elementos de contato com coeficiente de condutibilidade de superfície (W/m².K) permitem aplicar as temperaturas impostas na face aquecida assim como a temperatura ambiente na face não exposta.

As simulações foram realizadas com o programa DIANA 9.4 que oferece um conjunto de ferramentas para a consideração de um fluxo de temperatura, através das equações de convecção-difusão, Eq. (3), onde ϕ é o potencial, a temperatura por exemplo, \mathbf{q} o vetor de fluxo específico, \mathbf{k} o tensor de difusão, β o vetor do campo de convecção, \mathbf{c} a capacitância e \mathbf{qv} o fluxo externo.

$$\begin{aligned} \text{div } \mathbf{q} + \beta \nabla \phi + c \dot{\phi} &= \mathbf{q} \mathbf{v} \\ \mathbf{q} &= -k \nabla \phi \end{aligned} \quad (3)$$

Uma análise transiente permite considerar a variação das propriedades dos materiais em função da temperatura. Sem dúvida, quando mais completa a análise, melhor a qualidade e exatidão dos resultados. Contudo, estas informações que são as propriedades térmicas dos materiais, muitas vezes, são de difícil determinação. Por outro lado, a consideração da dependência das propriedades dos materiais em relação as temperaturas no tempo aumentam consideravelmente o tempo de processamento em uma modelagem 3D.

2.3 Acoplamento termomecânico

A análise de fluxo de calor define o perfil de distribuição das temperaturas na seção transversal da parede. Este campo de temperatura é transformado em deformação térmica. Esta deformação pode ser associada a uma tensão e integrada no volume da parede fornecendo uma força de volume para a resolução do problema pelo método dos elementos finitos conforme a Eq. (4) onde K é a matriz de rigidez, u o vetor de deslocamento, P o vetor de forças externas.

$$[K]\{u\} + f = \{P\} \quad (4)$$

O vetor de força de volume f pode ser tratado como resultante da ação da temperatura que provoca uma deformação térmica ϵ_{ter} que pode ser associada a uma tensão térmica cuja integral fornece uma força de volume f_{ter} de acordo com a Eq. (5):

$$f_{ter} = \int_v [B]^T [D] \{\epsilon_{ter}\} dV \quad (5)$$

Combinando as Eq. (4) e Eq. (5) é possível determinar uma deformação total e as tensões correspondentes.

3 | SIMULAÇÕES E RESULTADOS

As simulações realizadas no contexto deste trabalho procuram validar um procedimento em três etapas para o dimensionamento de paredes de alvenaria estrutural ou não em situação de incêndio, ou seja, a determinação da curva de aquecimento, da evolução das temperaturas na seção transversal da parede e a avaliação do efeito das temperaturas em termo de deformações e tensões. Além das equações que governam tanto o fenômeno de transferência de calor quanto o acoplamento termomecânico, podem ser necessárias considerações específicas sobre os materiais a serem utilizados na elevação das paredes, inclusive a dependência das propriedades dos mesmos em relação as altas temperaturas e ao tempo. Tais considerações exigiriam também uma abordagem que contemple as não linearidades dos materiais.

No contexto deste artigo, consideram-se dois tipos de modelos: um modelo 3D para a análise de um pano de parede, modelado com blocos vazados e um modelo 2D

onde é analisado o comportamento de um pórtico formado por uma parede vertical de compartimentação e as lajes que nela apoiam. Tal estratégia visa investigar a consistência da utilização do ensaio de resistência ao fogo para a análise do comportamento global da estrutura.

3.1 Materiais

As propriedades elásticas e térmicas consideradas para o bloco e a argamassa estão resumidas na Tabela 1. Várias destas propriedades dependem da temperatura e do tempo de aquecimento.

Características	Blocos	Argamassa
Módulo de Young E (MPa)	12000	8000
Coeficiente de Poisson μ	.22	.18
Densidade ρ (kg.m ⁻³)	1800	1600
Condutividade térmica λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	1,50	1,15
Coeficiente de troca superficial h_c (W.m ⁻² .K ⁻¹)	10	10
Capacidade térmica Cp (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	800	1000
Coeficiente de dilatação térmica α (°K ⁻¹)	5x10-6	5x10-5

Tabela 1 - Propriedades dos materiais.

3.2 Curva de aquecimento

Na modelagem com o Fire Dynamic Simulations (FDS), foi possível considerar três faixas de aquecimento na altura da parede de 2,40 m. Para isso, foram utilizados três conjuntos de termopares que registraram as curvas de temperatura-tempo da Fig. 2.(a). Observa-se claramente que a convecção provoca um aquecimento diferencial nas regiões mais altas do forno. Estas curvas podem ser aplicadas simultaneamente para a definição da evolução das temperaturas no interior da parede. Neste artigo adota-se o maior potencial de aquecimento que é destacada na Fig. 2.(b) utilizada para os modelos 3D e 2D.

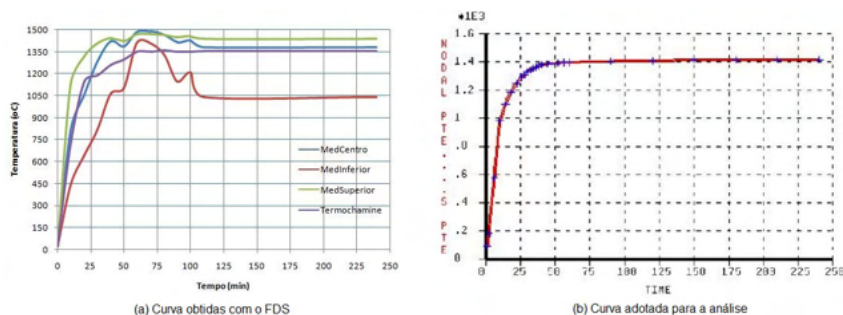


Figura 2 - Definição da curva de aquecimento para a análise de fluxo.

3.3 Análise do modelo 3D

A análise do modelo 3D foi realizada considerando uma parede de 1,50m x 2,4m apoiada na base e no todo. O lado não exposto está sob uma temperatura ambiente de 20 °C. Uma carga de 1MPa é aplicada no todo da parede. As condições de carregamento e de apoio constituem um aspecto bastante importante no comportamento da parede. Uma discussão será feita sobre isso na análise do modelo 2D.

O ensaio de resistência ao fogo procura verificar as características de isolamento térmico, resistência mecânica e estanqueidade. Na simulação numérica só são avaliadas as duas primeiras. Em relação ao isolamento térmico, o fluxo de calor não deve provocar uma elevação média de temperatura na face não aquecida maior de 140 °C, nem elevação pontual maior que 180 °C. A Figura 3.(a) mostra a evolução de temperatura entre face aquecida e face não exposta. A curva mais alta da Fig. 3.(b) corresponde ao lado aquecido.

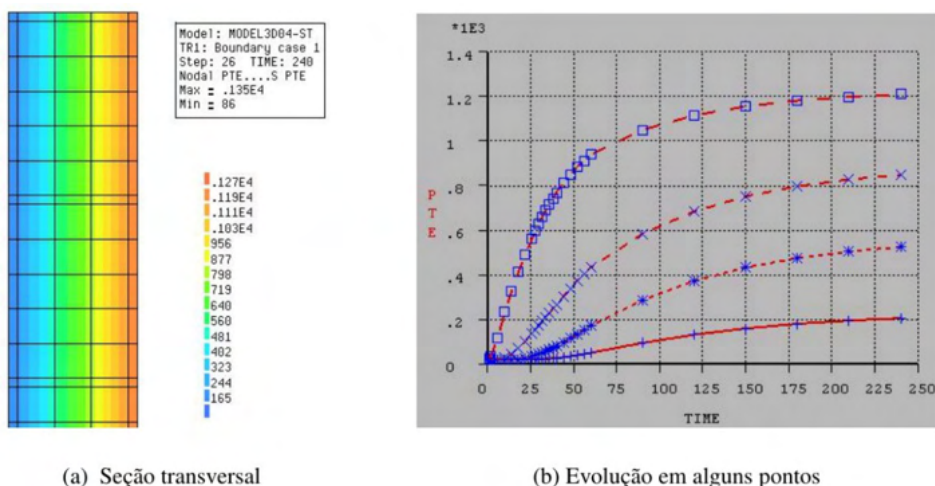


Figura 3 - Evolução das temperaturas na seção transversal.

Quanto ao critério de resistência, a variável de controle mais utilizada é o deslocamento horizontal da parede que deve ser inferior ao valor calculado com a Eq. (6) onde h é a altura da parede e e a espessura.

$$dh = \frac{h^2}{400 e} (mm) \quad (6)$$

A Figura 4 mostra a evolução deslocamento-tempo para o ponto de maior deslocamento durante o período de aquecimento de 240 minutos. O valor máximo observado de 22,5 mm estaria muito abaixo do limite da Eq. (6). Contudo vale ressaltar que nesta simulação não foi considerado o comportamento transiente dos materiais.

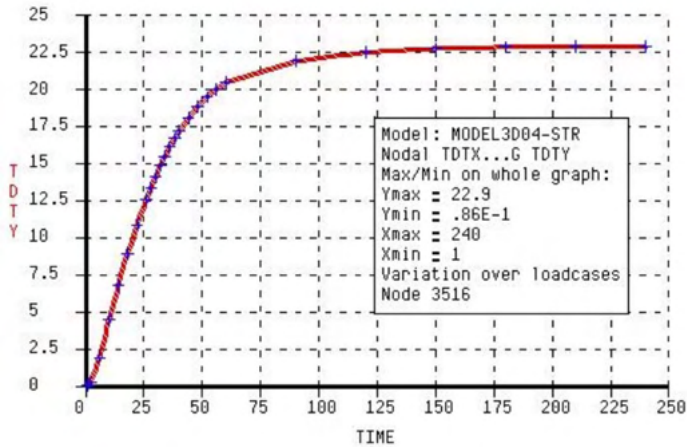


Figura 4 - Deslocamento transversal (mm) na face aquecida do modelo 3D.

3.4 Análise do modelo 2D

Para analisar a parede em condições de serviço, ela é considerada submetida a um carregamento composto pelas cargas dos pavimentos superiores (peso próprio e sobrecargas de utilização) e a carga térmica. A Figura 5 ilustra o pórtico analisado. São dois pavimentos de 2,40 m de altura entre lajes. As lajes têm 3 m de vão e são consideradas como contínuas sobre a parede.

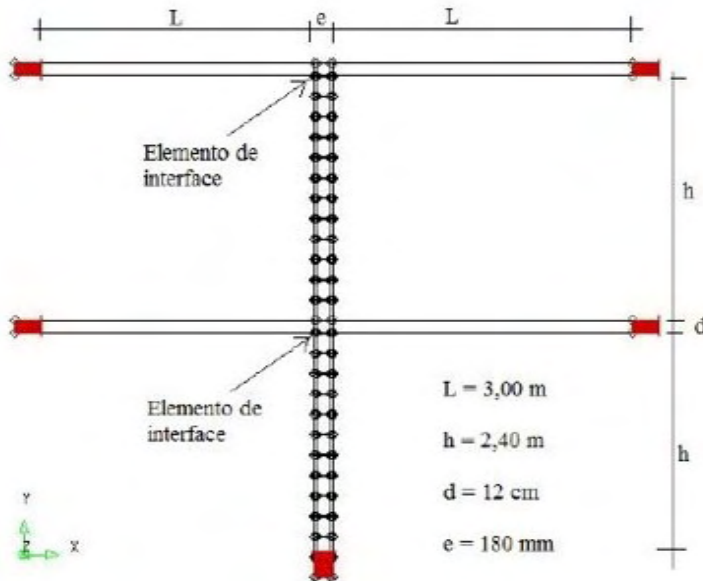


Figura 5 - Configuração do pórtico analisado.

Um dos problemas que se evidencia é o tipo de ligação entre lajes e parede. Uma ligação rígida com restrição à rotação afeta bastante o comportamento global. Para controlar este efeito, é possível introduzir no modelo um elemento de interface sem acoplamento entre seus deslocamentos tangencial e normal e que basicamente apresenta a lei constitutiva descrita pela Eq.(7). K_n e K_t são as rigidezes nas direções normal e tangencial da interface entre a laje e o topo da parede.

$$\begin{Bmatrix} \Delta\sigma_n \\ \Delta\sigma_t \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_n & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & K_t \end{bmatrix} \{P\} \quad (7)$$

Em geral, por se tratar de parede de compartimentação, são consideradas sempre com uma face aquecida e a outra com temperatura ambiente. O coeficiente de troca superficial proporciona a transferência por convecção.

Dentre as diferentes configurações possíveis, são apresentados os resultados de três situações considerando combinações de carga térmica e condições de apoio: a) fogo no primeiro pavimento e ligação rígida entre lajes e paredes; b) fogo nos dois pavimentos e ligação rígida entre lajes e paredes e c) fogo nos dois pavimentos e elementos de interface entre lajes e paredes. Os valores de rigidezes adotados para a interface foram os suficientes para liberar a rotação sem permitir interpenetração entre lajes e paredes. As cargas dos pavimentos são deduzidas a partir dos valores de peso específico de concreto comum e a carga térmica é a curva apresentada anteriormente na Fig. 2(b).

A modelagem por elementos finitos do pórtico inclui um conjunto de elementos com características estruturais para a representação dos blocos e da argamassa na análise do comportamento mecânica. O efeito das temperaturas é tratado com elementos de contorno que convertem fluxo de calor em carga térmica nodal. As simulações são realizadas no programa DIANA que oferece uma gama ampla de ferramenta para este tratamento. Combinando os dois elementos é possível analisar o acoplamento termomecânico. As variáveis de controle consideradas mais relevantes para o objetivo do trabalho foram a evolução da temperatura na parede, os deslocamentos horizontais na face aquecida e a deformada global que dão uma noção do modo de ruptura da estrutura.

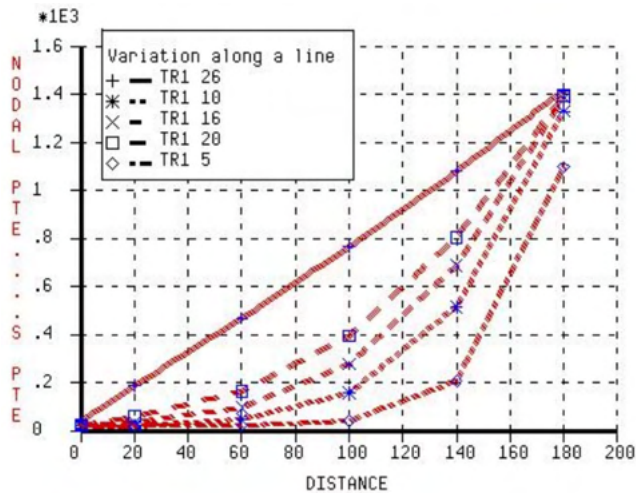


Figura 6 - Distribuição e evolução das temperaturas na seção transversal.

A Figura 6 apresenta a evolução das temperaturas em diferentes pontos da seção transversal da parede no processo transiente de aquecimento. As cinco curvas correspondem aos tempos de 14 min (TR1 5), 30 min (TR1 10), 44 min (TR1 16), 60 min (TR1 20) e 240 min (TR1 26). Nestas etapas e como nos restantes, as temperaturas são convertidas em cargas térmicas nodais de acordo com a Eq. (5) e somadas, caso existirem, às cargas externas. Resolve-se então o problema clássico de elementos finitos para determinar os deslocamentos e, a partir destes, as tensões.

Para a temperatura ambiente, o esquema estrutural da Fig. 5 exibe um comportamento simétrico onde as paredes são submetidas a compressão centrada. Com a ação das altas temperaturas o aquecimento diferencial provoca alongamento no lado aquecido, aumentando a compressão no outro lado. Este processo tende a mudar totalmente a deformada da estrutura que passa a exibir segundo a situação considerada um dos casos da Fig. 7.

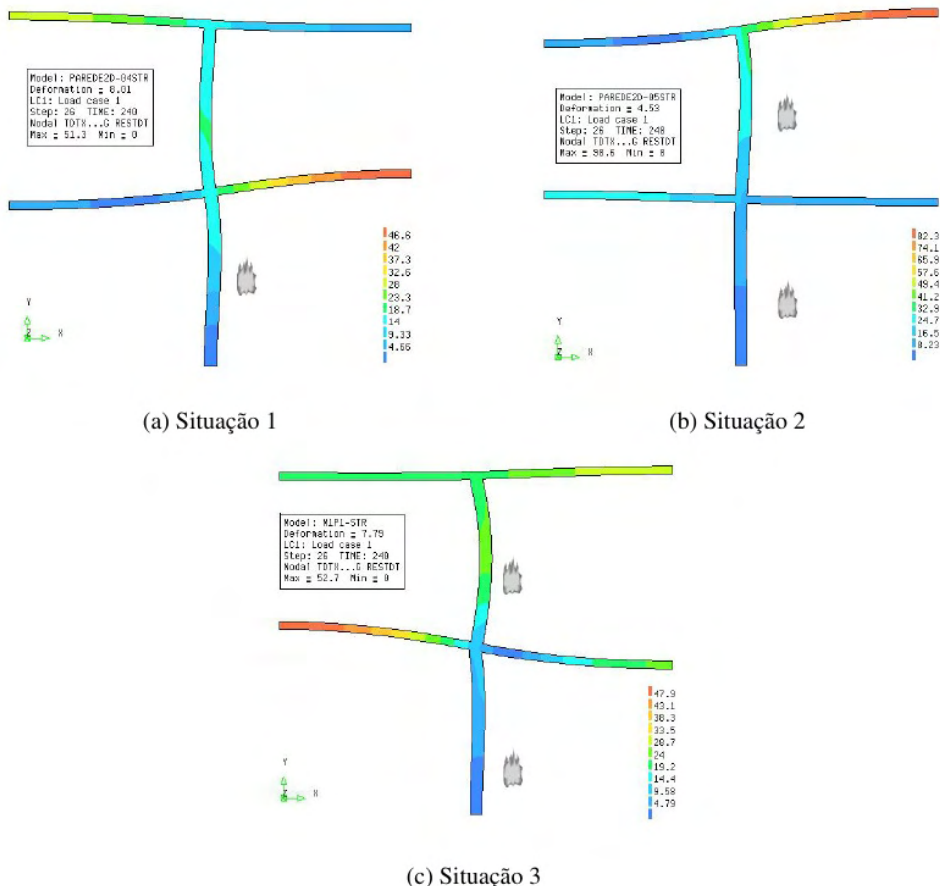
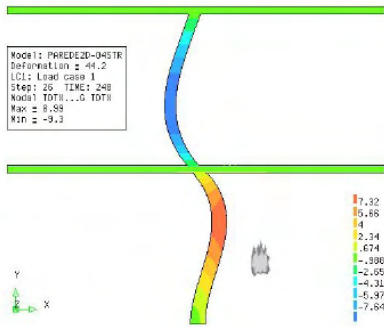


Figura 7 - Deslocamentos totais na configuração deformada.

Cabem várias observações tanto em relação a ação das temperaturas quanto a ação das cargas aplicadas. O comportamento é também afetado pelo tipo de ligação. Na situação da Fig. 7(b) onde as paredes são aquecidas nos dois pavimentos tem-se quase uma reversão na curvatura provocada pelas temperaturas como já observaram Nadjai et al. (2003), isso devido a ação das cargas aplicadas que provocam uma rotação no sentido contrário.

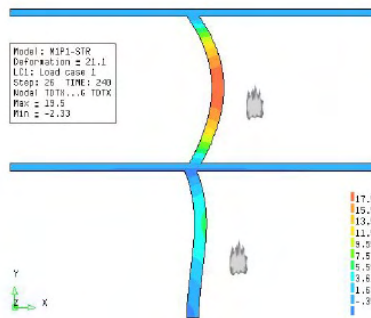
Na situação representada na Fig. 7(c) a presença de elementos de interface libera a rotação entre as lajes e o topo das paredes. Observa-se que as duas paredes apresentam uma curvatura no lado aquecido. Também se nota que as cargas externas do segundo pavimento reduzem o efeito das cargas térmicas. Isso vai acontecer sempre que houver uma resultante de cargas externas aplicada na parede aquecida. A magnitude da redução dependerá tanto da intensidade da resultante quanto de sua excentricidade em relação ao centroide da parede.



(a) Situação 1



(b) Situação 2



(c) Situação 3

Figura 8 - Deslocamentos na direção x na configuração deformada.

A Figura 8 mostra os valores dos deslocamentos horizontais, variável utilizada para a verificação do critério de resistência mecânica de acordo com a Eq. (6). Nos três casos é possível identificar a região da parede onde ocorre o maior deslocamento transversal. Vale destacar o que foi explicado anteriormente: a deformada é influenciada pelo tipo de ligação entre laje e parede.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização do programa FDS® mostrou que a distribuição dos queimadores no interior do forno pode provocar zonas de aquecimento resultando em um aquecimento desigual na superfície da parede. Isso significa que o programa pode ser também utilizado para definir a posição de queimadores para uma curva de aquecimento mais ou menos uniforme. As simulações mostraram também, que dois fatores podem afetar fortemente o comportamento global da edificação: a carga dos pavimentos superiores e o tipo de ligação parede-laje. As situações analisadas mostraram que diferentes combinações destes fatores podem levar a modos de ruptura muito diferentes e isso pode afetar bastante o dimensionamento da

estrutura.

Os resultados foram analisados mais do ponto de vista qualitativo do que quantitativo, isso porque foram utilizados, por um lado, valores genéricos encontrados na literatura sobre propriedades térmicas de componentes de alvenaria e, por outro lado, não foi feita uma análise transiente com dependência das propriedades dos materiais em relação a temperatura. Tais considerações são essenciais quando a análise visa determinar a capacidade estrutural residual após um determinado tempo de desenvolvimento de um incêndio para uma carga térmica dada, extensão natural deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432:2000.

Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5628:1980.

Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2012. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15200:2004 **Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004. 14 p.

Cooke, G. M. E., **Thermal bowing and how it affects the design of separating constructions.** Interflam 88, Fourth Int. Fire Conf. 22-24, March, Church College Cambridge, 1988, pp. 230-236.

Forney G. P., 2005. **Modeling And Visualizing Fire Without Getting Burned.** MCSD Seminar / National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, EUA.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Fire Resistance Tests - Elements of Building Construction - ISO 834-1.** Geneva: ISO/TC, 1990.

Jones W., Peacock R.D., Forney G.P., Reneke P.A. (2005). CFAST - **Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport.** NISTIR 1026, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, EUA.

Nadjai A., O´Gara M. E., Ali F., 2003. **Finite Element Modelling of compartment masonry wall in fire.** International Journal of Computer and Structures, vol. 81, 2003, pp. 1923-1930.

Nguyen, T. D., Meftah F., Chammas R. mebarki A., 2009. **The behaviour of masonry walls subjected to fire: Modelling and parametrical studies in the case of hollow burnt-clay bricks.** Fire Safety Journal, 44, 2009, pp. 629-641.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acoplamento termomecânico 44, 48, 52

Algoritmo genético (AG) 244

Alvenaria estrutural 4, 44, 48

Análise de imagem 235, 240, 241

Aprendizado de máquina 2

Arduino 17, 18, 19, 20, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 152, 154, 157, 158, 159, 160, 161

Arquitetura de software 5, 74, 75, 76

B

Balanced spaces 34

Biblioteconomia clínica 21

Bluetooth 141, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 151, 152, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 177

C

Cenários arquiteturais 5, 74, 87

Ciclo de vida arquitetural 74, 76, 77, 85, 87

Comunicação científica 3, 5, 57, 58

Conjuntos de similaridade 5, 105, 107, 108, 116

Correlação 235, 236, 240

D

Dados complexos 105, 106, 107, 108

Design science research 57, 58, 59, 62

Desigualdade de gênero na TI 173, 174

Dibujo asistido por computadora 6, 162, 163, 164, 171

E

Educación a distancia 162, 164, 165, 168, 170, 171

Elementos finitos 3, 48, 52, 53, 223

Energia renovável 185

Equivalência de funções 6, 118

F

Fibra de carbono 223

G

Gêmeo digital 5, 63, 64, 68, 71

Grafos 105, 112, 259, 261

H

Herramientas tecnológicas 6, 162, 163, 164, 170

Histórico feminino na TI 173, 174

Human comfort 198

I

Identificação de sistemas 185, 188, 189

Idosos 16, 17, 20

Indústria 4.0 63, 65, 66, 67

Infecções por Coronavirus 2

Interoperabilidade 21, 23, 24, 25, 26, 30, 32, 63, 64, 66, 67

J

JavaCV 235, 236, 237, 240, 241

JavaScript 141, 142, 153, 263

L

Ligas de alumínio 223

M

Memorandos técnicos 5, 74, 76, 78, 80, 81, 86, 87

Método sem malha local 243, 244

Método sem malha local com integração reduzida (ILMF) 244

Métrica de distância 5, 105, 113, 116

Microcontrolador 17, 141, 152

Mixed finite elements 34

Mulheres na TI 173, 174, 182, 183

Mulheres nos cursos superiores de TI 173, 174

O

Ontologias 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 32

opencv 241

OpenCV 235, 236, 237, 240, 241

Optimal detailing 89

P

Poisson's equation 34, 36

Prestressed concrete 89, 90, 91, 92, 96, 103

R

Rami 4.0 65

RAMI 4.0 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71

Realidade aumentada 3, 5, 57, 58, 60, 62

Remédios 3, 4, 16, 17, 20

Resistência ao fogo 44, 45, 49, 50, 56

Resistência mecânica 50, 55, 223

Robotista 63

S

Sistemas ciberfísicos (CPS) 63, 64, 71

Static condensation 4, 34, 35, 36

Steel-concrete 6, 198, 199, 200, 202, 204, 205, 206, 216, 218, 221

T

Terminologias clínicas 4, 21, 23, 24, 25, 30

Teste de hipótese 105

U

Usinas eólicas 185

V

Vibrations 6, 198, 199, 212, 219, 220, 222

Visões do modelo 4+1 5, 74, 87

Visualização de dados 57

W

Wi-Fi 141, 142, 147, 148, 152, 153, 157, 158

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 3

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br