



As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 3

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a
Economia e o Meio Ambiente 3

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
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. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
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. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
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. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 3 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 3)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-432-0 DOI 10.22533/at.ed.320192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

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

APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS CERÂMICOS DE ALUMINA-ZIRCÔNIA PARA APLICAÇÃO COMO FERRAMENTAS DE CORTE	
Miguel Adriano Inácio	
Maria do Carmo de Andrade Nono	
José Vitor Cândido de Souza	
Sergio Luiz Mineiro	
Daniel Alessandro Nono	
DOI 10.22533/at.ed.3201925061	
CAPÍTULO 2	10
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE MODELO ELASTOPLÁSTICO EM ROCHA CARBONÁTICA CARSTIFICADA	
Rayane Conceição Ribeiro da Silveira Mattos	
Daniel Araújo Farias de Melo	
Marinésio Pinheiro de Lima	
Tiago de Freitas Viana	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.3201925062	
CAPÍTULO 3	26
A INFLUÊNCIA DO NITROGÊNIO EM AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS COM APLICAÇÃO EM PRÓTESES ORTOPÉDICAS	
Glauber Rodrigues Cerqueira de Cerqueira	
Pedro Eliézer de Araújo Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.3201925063	
CAPÍTULO 4	42
MICROPOROUS ACTIVATED CARBON FIBER FELT FROM BRAZILIAN TEXTILE PAN FIBER: PREPARATION, CHARACTERIZATION AND APPLICATION AS SUPERCAPACITOR ELECTRODE	
Jossano Saldanha Marcuzzo	
Aline Castilho Rodrigues	
Andres Cuña	
Nestor Tancredi	
Eduardo Mendez	
Heide Heloise Bernardi	
Mauricio Ribeiro Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.3201925064	
CAPÍTULO 5	55
ANÁLISE COMPARADA DE UM AGREGADO DE ESCÓRIA DE ACIARIA COMO MATERIAL ALTERNATIVO PARA LASTRO DE VIAS FÉRREAS DO TIPO <i>HEAVY HAUL</i> POR MEIO DE ENSAIOS TRIAXIAIS	
Bruno Guimarães Delgado	
Antônio Viana da Fonseca	
Eduardo Fortunato	
Daniela Raquel Ferreira Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.3201925065	

CAPÍTULO 6	71
CARACTERIZAÇÃO EM FADIGA POR FLEXÃO ROTATIVA DE FIOS DE ARAME DE SOLDA	
Ingrid Ariani Belineli Barbosa	
Heide Heloise Bernardi	
William Marcos Muniz Menezes	
DOI 10.22533/at.ed.3201925066	
CAPÍTULO 7	80
ESTUDO DA MICROESTRUTURA NA ZONA TERMICAMENTE AFETADA COM A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM	
Luís Henrique Pires da Silva	
Alex Sander Chaves da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.3201925067	
CAPÍTULO 8	92
ESTUDO DA USINAGEM DA SUPERLIGA A BASE DE FERRO-NÍQUEL UTILIZANDO FERRAMENTA CERÂMICA	
Eduardo Pires Bonhin	
Sarah David Müzel	
Marcel Yuzo Kondo	
Lúcia de Almeida Ribeiro	
José Vitor Candido de Souza	
Marcos Valério Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.3201925068	
CAPÍTULO 9	100
CONSTRUÇÃO DE UMA MÁQUINA DE NÉVOA SALINA ATENDENDO AOS REQUISITOS MÍNIMOS CONTIDOS NAS NORMAS ISO 9227 e ASTM B-117	
Leonardo de Souza Coutinho	
Alexandre Alvarenga Palmeira	
DOI 10.22533/at.ed.3201925069	
CAPÍTULO 10	111
MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA: COLHEITADEIRAS AXIAIS X RADIAIS	
Filipi José Arantes Lemos	
João Mario Mendes de Freitas	
DOI 10.22533/at.ed.32019250610	
CAPÍTULO 11	127
MÉTODO DE OTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA PARA O PROJETO DE MODELOS DE BIELAS E TIRANTES	
Jamile Maria Araujo Tavares	
Rejane Martins Fernandes Canha	
DOI 10.22533/at.ed.32019250611	
CAPÍTULO 12	142
ESTUDO NUMÉRICO DE UM EQUIPAMENTO DE SECAGEM	
Eduardo Dal Piva Schuch	
Magaiver Gabriel Lamp	
Conrado Mendes Morais	
Ângela Beatrice Dewes Moura	
DOI 10.22533/at.ed.32019250612	

CAPÍTULO 13	153
SISTEMA DE AQUECIMENTO DE ÁGUA A COMBUSTÃO DE GASOLINA	
Felipe Michael Grein	
Jean Lucas Pereira	
Luiz Felipe Weck	
Olaf Graupmann	
DOI 10.22533/at.ed.32019250613	
CAPÍTULO 14	156
MODELAGEM DE PID PARA SISTEMA DE CONTROLE DE RAMPAS DE TEMPERATURA EM BRASSAGEM	
Gabriel Queiroz	
Marcelo Barros de Almeida	
Márcio Jose da Cunha	
DOI 10.22533/at.ed.32019250614	
CAPÍTULO 15	168
MODELAGEM MATEMÁTICA DE SISTEMAS DINÂMICOS: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA	
Lucas Divino Alves	
Neylor Makalister Ribeiro Vieira	
Emerson Paulino dos Reis	
DOI 10.22533/at.ed.32019250615	
CAPÍTULO 16	183
APLICAÇÃO E ANÁLISE VIA MEC EM PROBLEMAS DE TERMOELASTICIDADE 2D	
Luis Vinicius Pereira Silva	
Gilberto Gomes	
João Carlos Barleta Uchôa	
DOI 10.22533/at.ed.32019250616	
CAPÍTULO 17	198
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INJEÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIO DE PETRÓLEO HETEROGÊNIO	
Raquel Oliveira Lima	
José Arthur Oliveira Santos	
Antônio Jorge Vasconcellos Garcia	
Felipe Barreiros Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.32019250617	
CAPÍTULO 18	207
TANQUES FLASH: DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CUSTOS NO SOFTWARE DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO EMSO	
Erich Potrich	
Sérgio Correia da Silva	
Larissa Souza Amaral	
DOI 10.22533/at.ed.32019250618	

CAPÍTULO 19	215
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DEPOSIÇÃO ORGÂNICA EM OPERAÇÕES DE MISTURA DE PETRÓLEOS NO TANQUE DE ESTOCAGEM EM REFINARIAS DE PETRÓLEO	
Rosberguer de Almeida Camargo	
Mauren Costa da Silva	
Rafael Beltrame	
Darci Alberto Gatto	
Antônio Carlos da Silva Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.32019250619	
CAPÍTULO 20	223
AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA EMBARCADO PARA MENSURAR A ILUMINÂNCIA EM UM AVIÁRIO EXPERIMENTAL	
Giovanni Polette Dalla Libera	
Victor Moreira Leão	
Vitor Augusto de Sousa	
Matheus Fernando Lima Zuccherelli de Souza	
Renata Lima Zuccherelli de Oliveira	
Marcelo Eduardo de Oliveira	
Adriano Rogério Bruno Tech	
DOI 10.22533/at.ed.32019250620	
CAPÍTULO 21	230
CONTROLADOR FUZZY SINTONIZADO POR ALGORITMO GENÉTICO EM SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA	
Lenon Diniz Seixas	
Diego Solak Castanho	
Hugo Valadares Siqueira	
Fernanda Cristina Corrêa	
DOI 10.22533/at.ed.32019250621	
CAPÍTULO 22	243
CONTROLADORES ROBUSTO APLICADO A CONVERSORES CC-CC	
Luiz Otávio Limurci dos Santos	
Luiz Antonio Maccari Junior	
DOI 10.22533/at.ed.32019250622	
CAPÍTULO 23	261
PROPOSTA DE PLATAFORMA PARA ESTUDO DE MOTOR A RELUTÂNCIA VARIÁVEL 8/6	
Marcos José de Moraes Filho	
Luciano Coutinho Gomes	
Darizon Alves de Andrade	
Josemar Alves dos Santos Junior	
Wanberton Gabriel de Souza	
Cássio Alves de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.32019250623	

CAPÍTULO 24	275
ESTUDO COMPARATIVO DE MODELAGENS DE ENROLAMENTOS DE UM TRANSFORMADOR UTILIZANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS PARA ANÁLISES DE ESFORÇOS ELETROME CÂNICOS	
Pedro Henrique Aquino Barra Arnaldo José Pereira Rosentino Junior Antônio Carlos Delaiba	
DOI 10.22533/at.ed.32019250624	
CAPÍTULO 25	287
PROCEDIMENTO PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DO LAÇO DE HISTERESE MAGNÉTICA	
Vitor Hörbe Pereira Da Costa Antônio Flavio Licarião Nogueira Leonardo José Amador Salas Maldonado	
DOI 10.22533/at.ed.32019250625	
CAPÍTULO 26	294
SIMULAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO E CORRENTE ELÉTRICA EM TECIDOS BIOLÓGICOS	
Guilherme Brasil Pintarelli Afrânio de Castro Antonio Jr. Raul Guedert Sandra Cossul Daniela Ota Hisayasu Suzuki	
DOI 10.22533/at.ed.32019250626	
CAPÍTULO 27	307
SISTEMA DE PRESENÇA UTILIZANDO IDENTIFICAÇÃO POR RADIOFREQUÊNCIA	
Giovani Formaggio Mateus Ricardo Barroso Leite	
DOI 10.22533/at.ed.32019250627	
CAPÍTULO 28	322
SISTEMAS DEFASADORES EM ALTA FREQUÊNCIA UTILIZANDO MICROFITA EM SUBSTRATO FR4	
Jobson De Araújo Nascimento José Moraes Gurgel Neto Alexsandro Aleixo Pereira da Silva Regina Maria de Lima Neta	
DOI 10.22533/at.ed.32019250628	
CAPÍTULO 29	333
ANÁLISES DA RUPTURA EM TRECHO DA BR-060 NO MUNICÍPIO DE ALEXÂNIA, GOIÁS, E CONDIÇÕES APÓS SEIS ANOS DA RECUPERAÇÃO	
Rideci Farias Tiago Matias Lino Haroldo da Silva Paranhos Itamar de Souza Bezerra Ranieri Araújo Farias Dias Alexsandra Maiberg Hausser	
DOI 10.22533/at.ed.32019250629	
SOBRE O ORGANIZADOR	346

APLICAÇÃO E ANÁLISE VIA MEC EM PROBLEMAS DE TERMOELASTICIDADE 2D

Luis Vinicius Pereira Silva

Universidade de Brasília, Brasília - DF

Gilberto Gomes

Universidade de Brasília, Brasília – DF

João Carlos Barleta Uchôa

Instituto Federal de Brasília, Brasília – DF

RESUMO: Os materiais constituintes das fachadas, especificamente da estrutura de revestimento cerâmico, estão sujeitos a diferentes intempéries que se traduzem em ações solicitantes vindas da variação da temperatura ou choques térmicos. Tais ações, associadas com as diferentes propriedades físicas e mecânicas dos materiais empregados nos revestimentos, produzem estados de tensões e deformações nas fachadas. Neste trabalho, propõe-se uma modelagem numérica pelo Método dos Elementos de Contorno (MEC) para problemas de Potencial, considerando a estrutura de revestimento sob ação cíclica de temperatura na cidade de Brasília, avaliando seu efeito sob a estrutura de revestimento. A metodologia consiste em modelar perfis constituídos de emboço, argamassa colante e cerâmica, utilizando-se um pacote de software acadêmico baseado no MEC, visando determinar a distribuição de temperatura e, posteriormente, as tensões térmicas. De posse dos resultados, espera-se compreender de

forma mais clara a participação dos efeitos das tensões térmicas sobre as diversas patologias, as quais as estruturas de revestimento cerâmico estão submetidas.

PALAVRAS CHAVES: revestimento cerâmico; modelagem térmica; elementos de contorno; BEMLAB2D.

ABSTRACT: The materials that constitute the building facades, specifically the ceramic coating structure, are subject to different weather conditions. In fact, those adverse circumstances translate into loads, mainly generated by changes in temperature or thermal shocks, associated with the different physical and mechanical materials properties used in the coatings, produce stresses and strain states in the facades. Here, is proposes a numerical modeling via Boundary Elements Method (BEM) for Potential Problems, considering the coating structure under cyclic temperature action in the city of Brasilia, evaluating its effectiveness in the coating structure. The methodology consists in modelling profiles composed of plaster, bonding mortar and ceramic, using an academic software package based on the BEM, to determine the temperature distribution and, sequentially, the thermal stresses. With the results, it is expected to understand more clearly the contribution of the thermal stresses on the several pathologies which the ceramic coating structures are

subjected to.

KEYWORDS: ceramic coating; thermal modeling; boundary elements; BEMLAB2D.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Silva (2000), os sistemas de revestimentos cerâmicos são empregados na grande maioria das fachadas dos empreendimentos, sendo necessário compreender e analisar o comportamento desse conjunto, uma vez que se trata de estruturas sujeitas a diversos esforços. Fiorito (2009) enfatiza que o sistema cerâmico é uma estrutura por ser constituído de diversas camadas com propriedades diferentes e por possuir suas deformações particulares. Consequentemente, tais estruturas estão sujeitas a diversas patologias, com destaque para o deslocamento, onde segundo Segat (2005) são oriundas, por exemplo, dos carregamentos térmicos.

Segundo Barbosa (2013), os carregamentos térmicos são caracterizados por variações de temperaturas naturais ao longo do dia ou até mesmo por variações bruscas em um certo período, como por exemplo, as provocadas por chuvas, pois submetem a estrutura de revestimento cerâmico a um choque térmico. Conforme sustenta Silva (2000), a variação de temperatura entre as diversas camadas que compõem a estrutura de revestimento, causa uma diferença de tensões e consequentemente diferentes deformações. Bauer *et al.* (2012), relata que devido as tensões de origem térmicas, atuarem sobre o sistema de revestimento cerâmico de forma cíclica, o mesmo é levado a um processo de fadiga, perdendo sua resistência de forma progressiva à medida que é submetida a um novo carregamento, levando por sua vez ao descolamento, não só apenas das peças cerâmicas, mas das demais camadas como um todo.

Na compreensão dos fenômenos térmicos sobre tais estruturas, o Método dos Elementos de Contorno (MEC), têm ganhado cada vez mais força neste campo de pesquisa devido à inexistência de ensaios específicos e não destrutivos para realização *in loco* e, segundo Brebbia e Dominguez (1992) tem-se apresentado como uma forma alternativa de análise ao Método dos Elementos Finitos (MEF). Guimarães (2017), lançando mão das técnicas disponíveis no MEC para problemas de Potencial, buscou analisar a influência da profundidade das fissuras presentes nos revestimentos de fachadas, por meio de uma modelagem de fluxo de calor.

Portanto, o presente trabalho busca enfatizar a distribuição de temperatura dentro da estrutura de revestimento cerâmico, por meio de uma modelagem numérica via MEC, uma vez que a compreensão do gradiente térmico se apresenta intrinsecamente ligado ao melhor entendimento do processo de fadiga da estrutura. Por questões de simplificação, a obtenção das tensões térmicas e a avaliação do processo de fadiga na estrutura de revestimento não serão discutidas aqui.

2 | O SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Dentre as possíveis funções atribuídas ao sistema de revestimento, Carasek (2007) apresenta algumas das quais considera mais relevante, como: a função de proteger a estrutura contra as ações externas, contribuição com o isolamento térmico, acústico e estanqueidade, além de propor regularização à superfície propondo melhor condições para o acabamento decorativo.

A estrutura de revestimento cerâmico pelo fato de ser largamente utilizada no Brasil e por estar sujeita a diversas ações do meio externo, apresenta diversos tipos de patologias, que de acordo com Campante *et al.* (2003), pode estar relacionada a inúmeros fatores, desde a elevada rigidez dos componentes até na falta de controle na execução.

Todos os tipos de ações de cunho intrínseco e extrínseco contribuem para o surgimento de anomalias, entretanto, segundo Saraiva (1999), a estrutura de revestimento é menos propício ao surgimento de bolores, trincas fora dos rejuntas e bolores, os quais são frequentemente observados em outros tipos de sistemas de revestimentos menos elaborados.

Uchôa (2007) salienta que um dos fatores que contribui de forma preponderante sobre a degradação da estrutura de revestimento cerâmico é o fator climático, pois as variações térmicas e a umidade provocam deformações ocasionando tensões no revestimento. Segundo Fiorito (2009), o surgimento das tensões em toda estrutura do revestimento cerâmico, deve-se também ao fato das camadas estarem ligadas entre si e por possuírem características físicas e mecânicas diferentes, portanto, qualquer deformação que atue em uma dessas camadas resultará no aparecimento de tensões em todo o conjunto. A Figura 1 mostra a composição da estrutura do revestimento cerâmico.

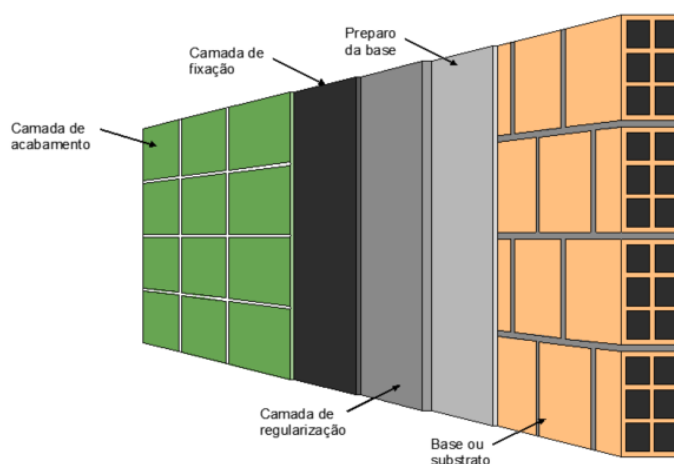


Figura 1 - Estrutura de sistema de revestimento cerâmico

Fonte: Junginger (2013).

Chew (1992), em sua pesquisa experimental procurou avaliar a durabilidade da argamassa colante utilizada no processo construtivo do sistema de revestimento cerâmico envolvendo o efeito das tensões térmicas. Nos ensaios experimentais foram usados dois tipos de substratos e dois tipos de adesivos B e D, para construção de painéis, os quais foram submetidos a 100 ciclos de aquecimento com lâmpadas de infravermelho e um processo de resfriamento por meio de ventiladores. A temperatura registrada nas placas foi de 38°C. Ao finalizar a aplicação dos ciclos, realizaram-se ensaios de arrancamento das placas cerâmicas. Após os testes de arrancamento, realizados para os dois tipos de adesivos B e D, constatou-se uma redução de 18% e 21%, respectivamente, na resistência de aderência das placas ao se comparar com outros painéis que não sofreram ação térmica.

A aderência, por sua vez, possui a capacidade de absorver as tensões normais e tangenciais à superfície de interface do sistema de revestimento e, observa-se que as fissuras em argamassas de revestimento provocadas por movimentações térmicas das paredes dependem do módulo de elasticidade sendo desejável que a capacidade de deformação do revestimento supere com folga a capacidade de deformação da parede, o que vale ainda destacar que a redução da aderência devido aos ciclos de tensões possui outros fatores agravantes no aumento da intensidade das forças, como, cor da placa cerâmica e o coeficiente de dilatação térmica da placa cerâmica (THOMAZ, 1989; FIORITO, 2009).

Saraiva (1999), analisou o efeito das tensões e deformações do sistema de revestimento, discretizando por sua vez um modelo bidimensional em elementos finitos, aplicando um regime estacionário. De posse dos parâmetros ensaiados, avaliou cinco casos, variando dentre eles, a espessura das camadas. Assim, as tensões oriundas das movimentações entre as camadas do sistema de revestimento podem levar na redução da resistência, acarretando em falhas no sistema devido às fissuras nos substratos ou por falhas no rejuntas.

Para compreender melhor o efeito das tensões nas estruturas de revestimento, inicialmente à temperatura ambiente, observa-se que as tensões de tração sobre o sistema de revestimento cerâmico (Figura 2a), são causadas por um aumento gradativo da temperatura do sistema ($T_1 > T_0$) (Figura 2b), que causa o afastamento das placas umas das outras, fazendo com que as juntas se abram (FIORITO, 2009). O surgimento das tensões de tração entre as camadas de materiais diferentes dá origem ao aparecimento de tensões de cisalhamento entre a base das peças (tardoz) e a argamassa colante. A Figura 2b ilustra a distribuição simétrica da tensão de cisalhamento. Se a resistência de aderência da interface da argamassa colante e cerâmica for inferior ao cisalhamento atuante, as placas da base se soltarão da camada regularizada. Em seguida, a queda gradual de temperatura ($T_2 < T$), causa o encurtamento da base que no caso da perda da resistência de aderência na interface argamassa colante e cerâmica, provoca o destacamento das peças cerâmicas, fazendo as peças soltas assumirem a forma de um “V” invertido (Figura 2c) e, posteriormente

com a ciclagem do carregamento térmico o seu total descolamento, como podemos observar na Figura 2d (FIORITO, 2009).

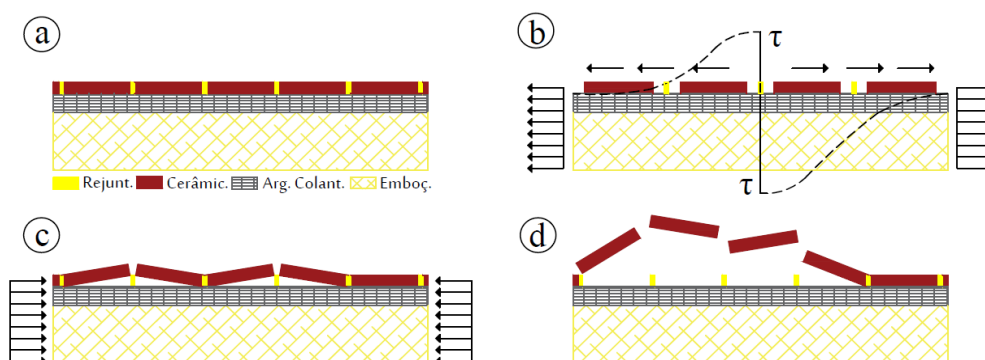


Figura 2 - (a) Sistema à temperatura ambiente (T); (b) Cerâmica sob tensão de tração e cisalhamento ($T_1 > T$) e (c) peças soltas devido à compressão ($T_2 < T$), formando o “V” invertido; (d) Descolamento completo devido a ciclagem do carregamento.

Fonte: (Fiorito, 2009)

3 I MÉTODO DOS ELEMENTOS DE CONTORNO (MEC)

A ideia central do MEC é utilizar equações integrais de contorno, oriundas das equações diferenciais que governam o problema e suas incógnitas, relacionando apenas os valores de contorno, visando uma solução numérica. O cálculo de suas variáveis (potencial/fluxo ou tensões/deslocamentos) na região interna do problema é feito a partir dos dados encontrados inicialmente no contorno do corpo. Uma vez que todas as aproximações numéricas se dão apenas no contorno, a dimensionalidade do problema é reduzida em um, o que permite trabalhar com um sistema de equações reduzido do que aqueles obtidos com o método dos elementos finitos (GOMES, 2006).

3.1 Equação Integral de Contorno

A equação de Laplace serve como base para o progresso inicial do MEC aplicado a problemas de potencial. Assim, o primeiro passo para a dedução da integral de contorno é a escolha do método que vai ser empregado, portanto, dentre esses métodos podem ser citados o método dos resíduos ponderados, o teorema de Betti, a identidade de Green e os princípios dos trabalhos virtuais (PIRES, 2018), que levam a seguinte equação integral:

$$cu_i(x) + \int_{\Gamma} uq^* d\Gamma = \int_{\Gamma} q u^* d\Gamma \quad (1)$$

A solução numérica da equação integral de contorno (equação (1)) é obtida por meio da discretização do contorno Γ em elementos que sejam capazes de proporcionar uma boa aproximação para a geometria e para as variáveis u e q , com ajuda de funções de interpolação, conhecidas também como funções de forma.

3.2 Discretização dos Elementos

Para se obter a solução numérica da equação integral de contorno é necessário que o contorno (Γ) seja discretizado em elementos que sejam capazes de proporcionar uma boa aproximação para a geometria e para as variáveis u e q , com a ajuda de funções de interpolação, conhecidas também como funções de forma. Estas, por sua vez, estão associadas aos valores da função solução em pontos específicos sobre o elemento, chamados de valores onde o nó físico é o ponto em que se definem as incógnitas “ u ” e “ q ”, e a extremidade dos elementos são os pontos que definem a sua geometria, também chamados de nós geométricos, a Figura 3 traz os diferentes tipos de elementos (GUIMARÃES, 2017).

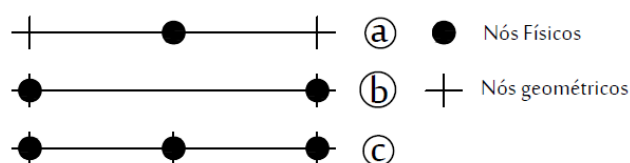


Figura 3 - Diferentes tipos de elementos de contorno: a) Constante; b) Linear; c) Quadrático.

Fonte: (Guimarães, 2017)

3.3 Sub-regiões

A técnica de sub-regiões é utilizada quando os problemas em análise via MEC envolvem meios heterogêneos. A técnica consiste em separar o domínio em regiões distintas, utilizando interfaces. Através delas, seu domínio é dividido de tal forma que cada face da interface pertença a uma sub-região e sua implementação numérica é feita separadamente para cada sub-região. Seu contorno externo (Γ^1 e Γ^2) é discretizado individualmente enquanto a interface (linha interna de fechamento da sub-região é feita igualmente para ambas as sub-regiões, por nós coincidentes aos domínios, como demonstrado na Figura 4 (GUIMARÃES, 2017).

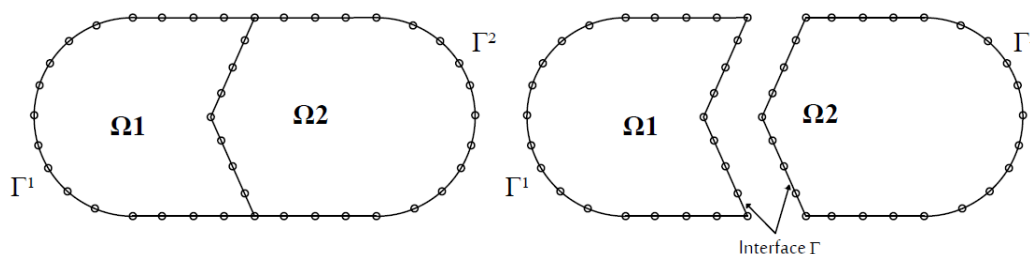


Figura 4 - Domínio dividido em duas sub-regiões.

4 | MODELAGEM NÚMERICA

Um modelo numérico em elementos de contorno foi elaborado com o objetivo de analisar e avaliar a distribuição de temperatura nas camadas da estrutura de

revestimento cerâmico provenientes de um transiente térmico. Assim, pretende-se ter um melhor esclarecimento sobre o mapeamento térmico, bem como entender quais camadas estão mais propícias a uma maior magnitude de tensões.

No desenvolvimento do modelo, utilizou-se da interface gráfica (GUI) BEMLAB2D (Delgado Neto, 2016) para a concepção, visualização dos modelos, geração da malha via MEC e obtenção do arquivo de dados de entrada *input* e, posteriormente a utilização do programa *SubRegPotencial.m* (desenvolvido pelo programa de pós-graduação em integridade de materiais em engenharia (PGINTEGRIDADE na UnB/GAMA), para o processamento da análise e obtenção dos resultados e ambos os programas foram implementados em MATLAB.

Para a definição das propriedades físicas e mecânicas de cada material da estrutura de revestimento cerâmico foram extraídos os dados da pesquisa realizada por Saraiva (1999), Uchôa (2007) e Chagas (2009). A Figura 5 mostra a estrutura geométrica adotada no modelo em estudo e a Tabela 1 apresenta o resumo das propriedades atribuídas ao modelo numérico adotada.

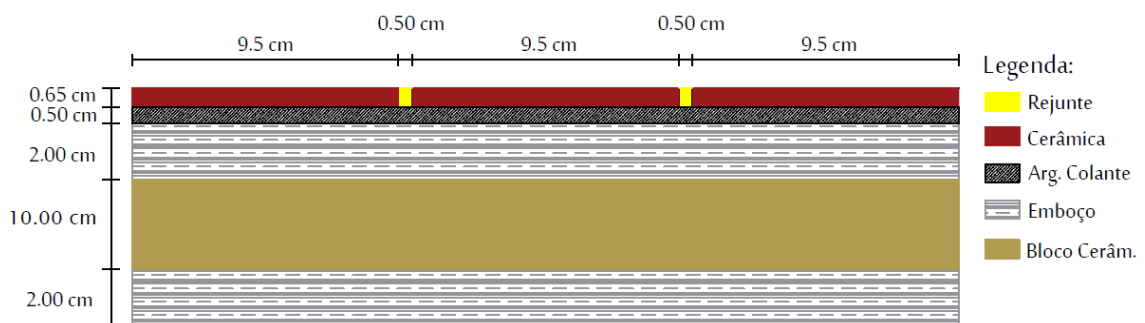


Figura 5 - Modelo geométrico reduzido da estrutura

Material	Condutividade Térmica (w/m°C)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Calor Específico (J/kg °C)	Coef. de Dilat. Térmica (°C ⁻¹)
Cerâmica	2,00	41,600	920	6,8 x 10 ⁻⁶
Arg. Colante	0,84	3,562	1000	8,7 x 10 ⁻⁶
Emboço	1,4	5,499	1000	11,5 x 10 ⁻⁶

Tabela 1 - Propriedades atribuída ao modelo

Na análise serão adotadas duas situações para a avaliação do comportamento da estrutura do revestimento cerâmico com relação à distribuição das temperaturas atuantes nesse sistema. As duas situações se baseiam na tonalidade da cerâmica da estrutura (Thomaz, 1989) empregando uma cerâmica clara e uma cerâmica escura, cujo coeficiente de absorção térmica adotado vale 0,45 e 0,95 para a cerâmica de cor clara e de cor escura, respectivamente. E ainda, a distribuição da temperatura interna (T_i) dentro do ambiente de 25°C, valor utilizado por Uchôa (2007). Os casos utilizados no estudo estão resumidos na Tabela 2.

Caso	Cor da cerâmica	Temperatura interna (T_i)
1	Clara	25 °C
2	Escura	25 °C

Tabela 2 - Casos avaliados na análise

O transiente térmico aplicado à estrutura foi fornecido pelo INMET e é referente ao dia 12/10/1963 da cidade de Brasília. O transiente foi adotado por apresentar a maior temperatura registada entre 1961 a 2013, no valor de 34,60°C às 16:00, sendo apresentado na Tabela 3.

Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
T(°C)	24,49	23,46	22,48	22,55	22,71	22,41	22,14	23,20	25,32	28,96	31,38	32,51
Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
T(°C)	32,84	33,67	33,98	34,21	34,60	34,42	34,34	32,79	28,46	26,48	25,94	24,71

Tabela 3 - Transiente de Temperatura de Brasília

Utilizando os conceitos de temperatura equivalente apresentados por Rivero (1985) e utilizando o coeficiente de absorção térmica para superfície de cor clara e escura, obtém-se o valor da temperatura externa (T_e) atribuída a peça cerâmica para cada hora do dia. De posse dos valores, os mesmos são atribuído ao modelo numérico (Figura 7) via MEC para determinar as temperaturas (t_2, t_3, t_4, t_5) entre camadas da estrutura do revestimento, como pode ser visto na Figura 6.

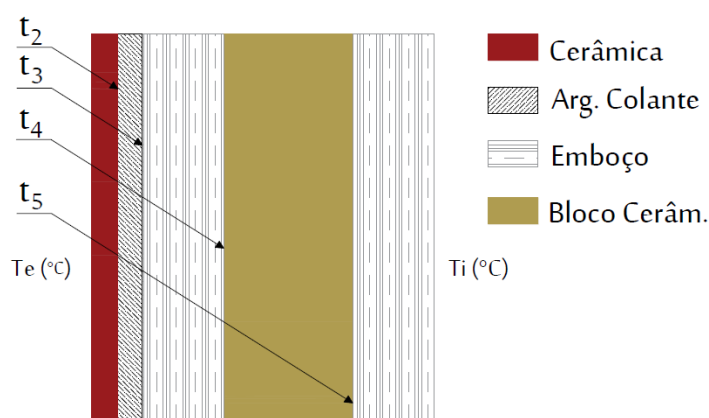


Figura 6 - Leitura da temperatura nas interfaces da estrutura

O modelo físico geométrico discretizado é composto por 5 sub-regiões, representando por meio delas a camada de cerâmica, argamassa colante, emboço interno, bloco cerâmico e emboço externo, respectivamente, como pode ser observado nas Figuras 6 e 7. A escolha da quantidade de elementos constantes para discretização de cada linha do contorno de cada sub-região foi realizada de forma aleatória inicialmente, sendo refinada particularmente para cada trecho de acordo com

o seu comprimento, ficando em média um espaçamento de 1cm entre cada elemento, resultando em um total de 102 de elementos constantes.

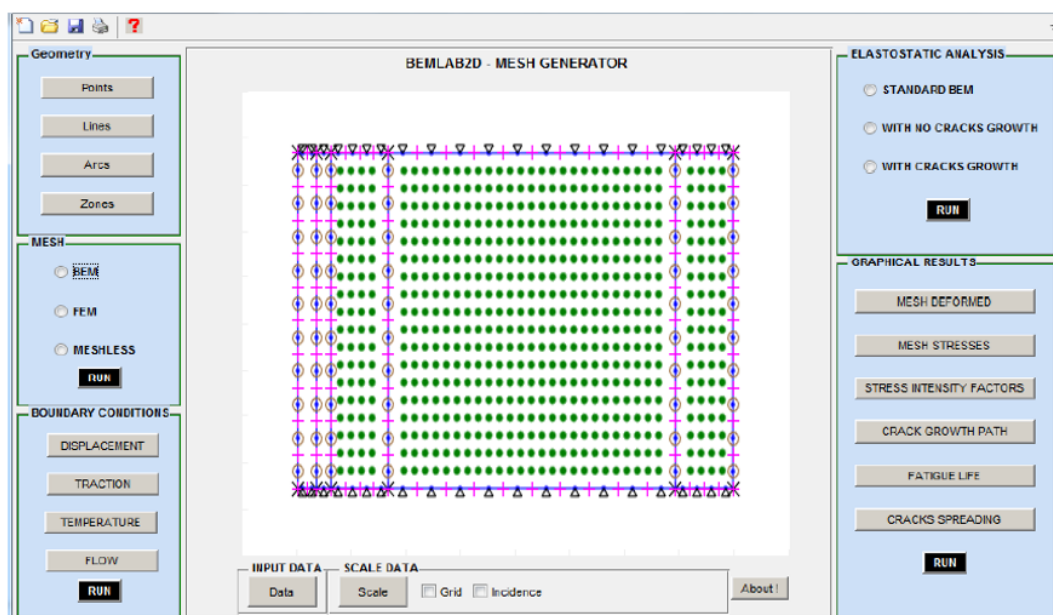


Figura 7 - Modelo numérico gerado por meio do BEMLAB2D

A quantidade de pontos interno atribuídas ocorreu por meio de testes até obter valores refinados, resultando em um total de 720 pontos internos, os quais foram distribuídos dentro das camadas que possuem espessuras maiores que 1cm.

5 | RESULTADOS

As análises numéricas descritas abaixo retratam a distribuição de temperatura entre as camadas/interfaces dos elementos que compõem o conjunto da estrutura. Os modelos analisados abaixo retratam as situações em que o estudo possuiu seus menores e maiores picos de temperaturas, registrados às 6:00 e 16:00 horas. Os horários analisados possuem influência direta dos efeitos da radiação solar sobre a estrutura de revestimento cerâmico.

5.1 Caso 1

O modelo retrata a estrutura de revestimento com cerâmica clara e temperatura interna de 25°C. As Figuras 8 e 9 representam a distribuição de temperaturas nas camadas da estrutura do revestimento.

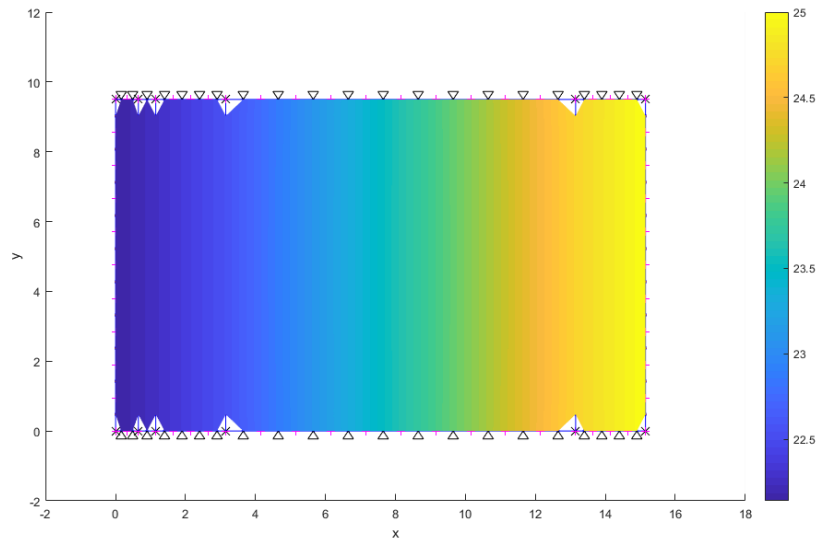


Figura 8 - Distribuição de temperatura nas camadas às 6:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

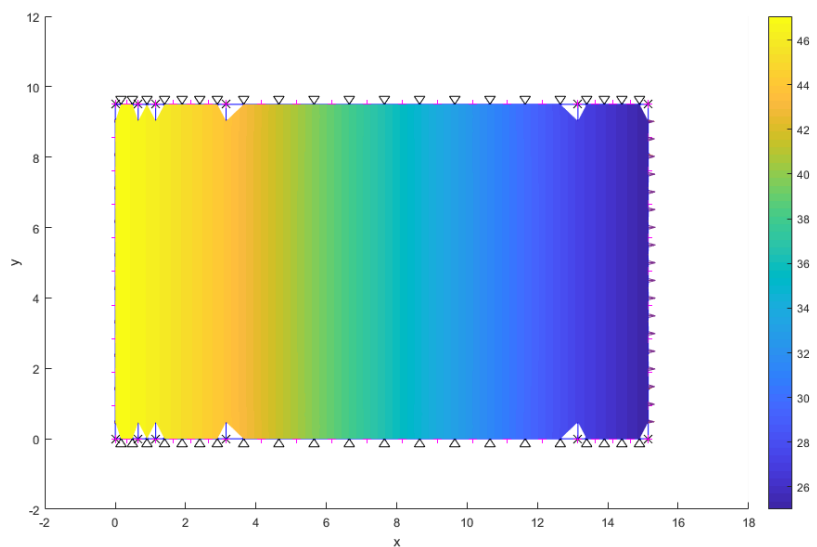


Figura 9 - Distribuição de temperatura nas camadas às 16:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

A temperatura atribuída a camada da cerâmica às 6:00h no modelo numérico, após aplicação da teoria de temperatura equivalente foi de $22,14^\circ\text{C}$, sendo, portanto, menor que a temperatura interna (25°C) atribuída. Ao prosseguir com os cálculos, a temperatura atribuída às 16:00h, foi de $47,06^\circ\text{C}$. O cenário retratado pela análise mostra um ambiente interno com temperatura superior ao meio externo em certos horários do dia, fazendo com que as camadas e interfaces possuam oscilações de temperaturas mais adversas.

Na Figura 10 tem-se a distribuição da temperatura na estrutura ao longo das 24 horas. Ao observar as variações de temperaturas que as camadas estão sujeitas ao longo do dia, verifica-se que os maiores picos ocorrem na interface entre a camada da cerâmica e argamassa colante (representado por t_2), registrando um valor de $23,91^\circ\text{C}$, enquanto que a variação entre a interface da argamassa colante e o emboço (representado por t_3) entre o maior e o menor pico de temperatura, registra um valor $23,91^\circ\text{C}$.

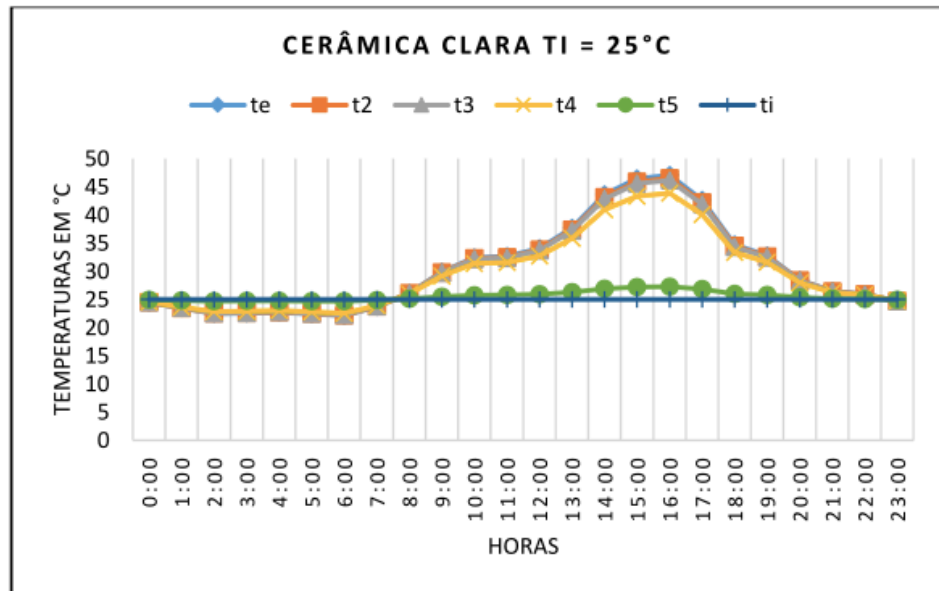


Figura 10 - Distribuição de temperatura nas camadas da estrutura ao longo das 24 horas

5.2 Caso 2

O último caso trabalha com a estrutura de revestimento com cerâmica escura e temperatura interna de 25°C. As Figuras 11 e 12 representam a distribuição de temperaturas nas camadas da estrutura do revestimento.

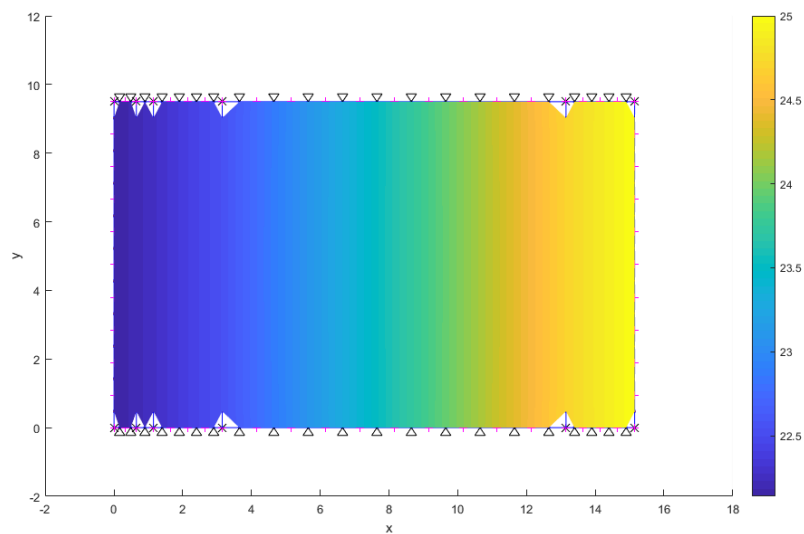


Figura 11 - Distribuição de temperatura nas camadas às 6:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

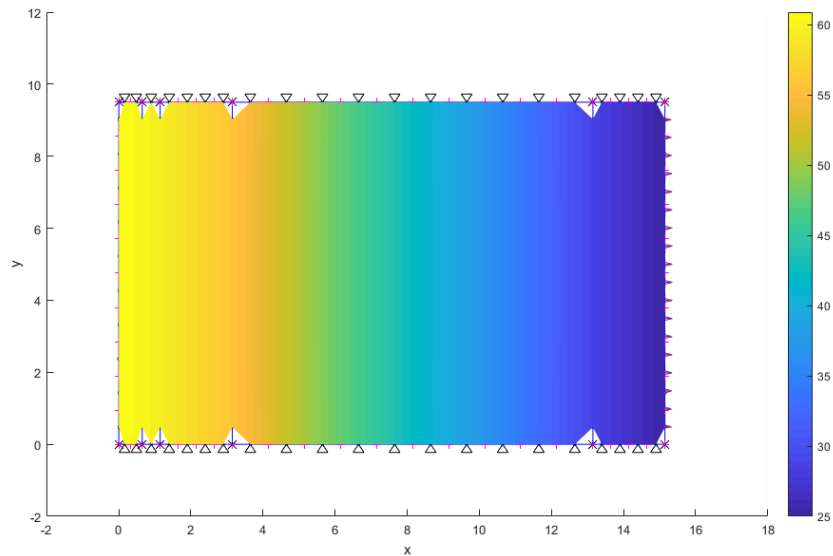


Figura 12 - Distribuição de temperatura nas camadas às 16:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

A temperatura atribuída a camada da cerâmica às 6:00h no modelo, após aplicação da teoria de temperatura equivalente foi de $22,14^\circ\text{C}$, sendo, portanto, menor que a temperatura interna (25°C). Ao prosseguir com os cálculos, a temperatura atribuída às 16:00h, foi de $61,00^\circ\text{C}$. O cenário retratado nesse caso apresenta grandes variações térmicas em determinados horários do dia, como pode ser observado na Figura 13.

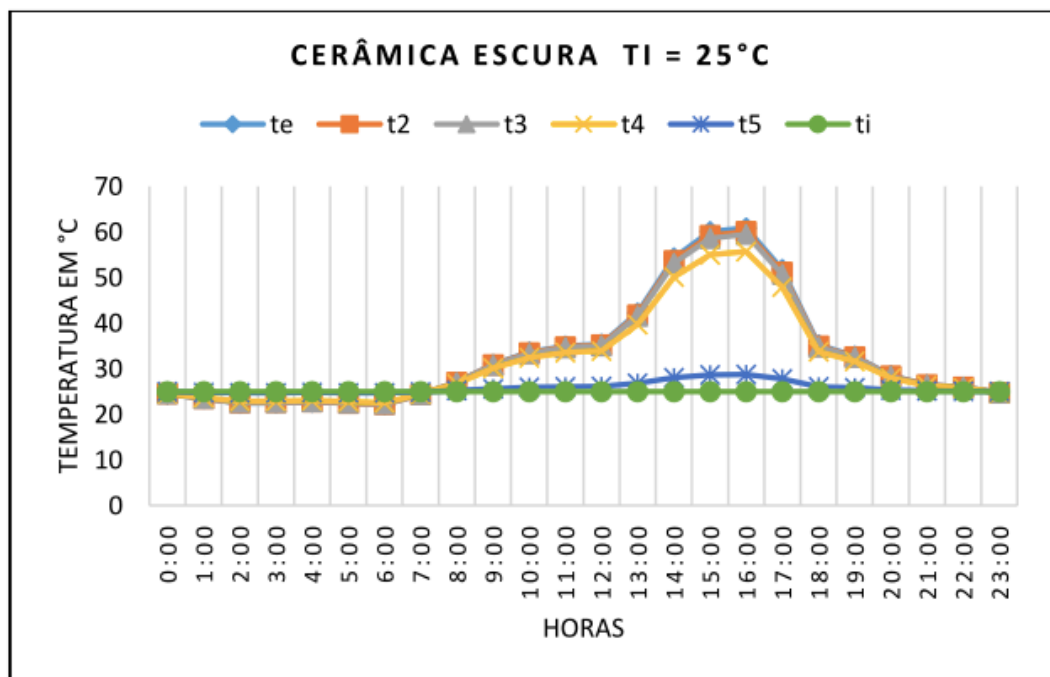


Figura 13 - Distribuição de temperatura nas camadas da estrutura ao longo das 24 horas

Ao observar as variações de temperaturas que as camadas e interfaces estão sujeitas ao longo do dia, verifica-se que os maiores picos ocorreram na interface entre a camada da cerâmica e argamassa colante (representado por t_2), registrando um valor de $37,84^\circ\text{C}$, enquanto, que a variação entre argamassa colante e o emboço

(representado por t_3), após o maior e o menor pico de temperatura, registra um valor 37,20 °C.

5.3 Validação

Para tornar os dados mais confiáveis, os valores obtidos pelo método numérico foram comparados com os valores obtidos no trabalho do Uchôa (2007), o qual modelou uma estrutura semelhante via Métodos dos Elementos Finitos (MEF) por meio do ANSYS, obtendo assim, os valores das temperaturas nas interfaces das camadas para um caso semelhante ao caso 1, a Figura 14 mostra a comparação entre os valores obtidos por meio dos dois métodos numéricos.

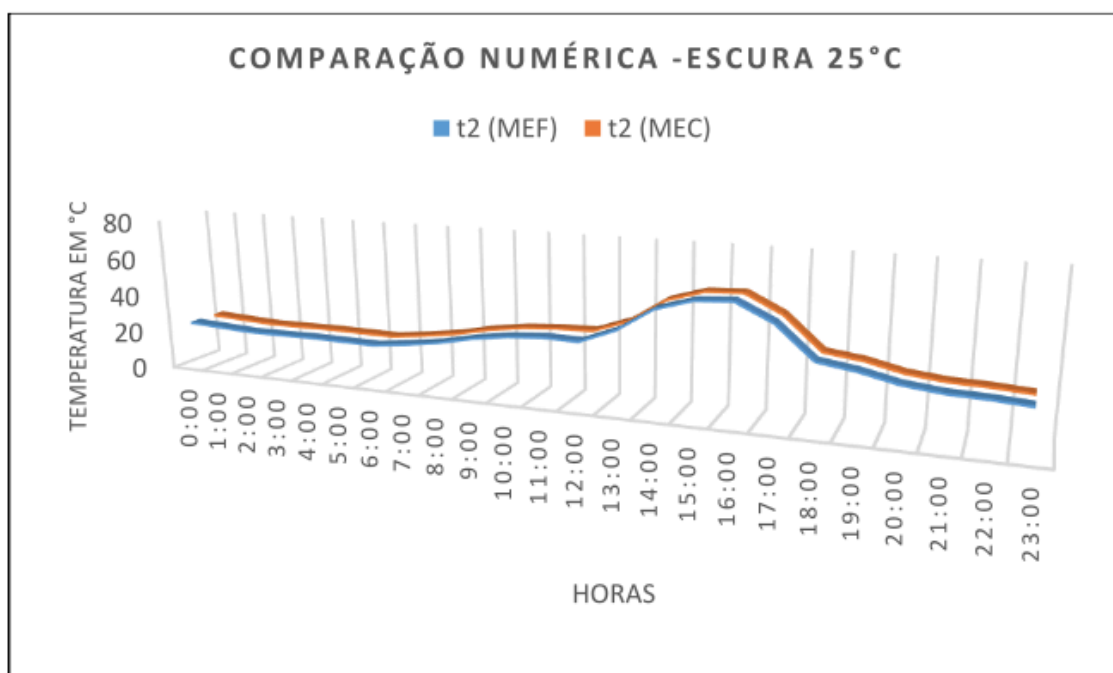


Figura 14 - Comparação numérica entre MEC e MEF

A comparação entre os dados obtidos por ambos os métodos representa a temperatura encontrada na interface entre cerâmica e a argamassa colante (representado por t_2), assim, podemos perceber que ambos os métodos chegaram a valores praticamente iguais.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que o modelo em estudo ocorreu por meio de uma simplificação, atuando em um regime quase transiente, uma vez que, as análises foram realizadas para cada hora do dia, obtivemos resultados satisfatórios.

Nas interpretações dos resultados realizados por meio da análise numérica, observa-se que a cerâmica escura por possuir um coeficiente de absorção térmico

maior do que a da cerâmica clara, a mesma absorve mais temperatura externa do ambiente do que a cerâmica clara, assim, conclui-se que estruturas construídas com elementos com tonalidades escuras são mais propícias a sofrerem o processo de descolamento das cerâmicas, por estarem sujeitas a variações térmicas mais severas, portanto, estando também a variações de tensões. Entretanto, no modelo numérico utilizando tonalidades mais claras na estrutura do revestimento, espera-se que o efeito do descolamento seja de forma mais lenta, prolongando por sua vez, a vida útil da estrutura, devido as variações térmicas encontradas entre as camadas da estrutura serem razoáveis, quando comparadas as estruturas com cerâmicas escuras.

Observa-se também que as maiores variações ocorreram nas interfaces entre as camadas da cerâmica com argamassa colante e, entre a argamassa colante e o emboço, que segundo Fiorito (2009), o descolamento das partes da estrutura do revestimento cerâmico surge principalmente entre essas camadas, tornando, assim, mais evidente o efeito da temperatura sobre tal conjunto.

O Método dos Elementos de Contorno mostrou-se extremamente eficiente para problemas de potencial, pois ao comparar os seus resultados com MEF, os valores obtidos via contorno são satisfatórios, mostrando ainda mais a eficiência do MEC no meio acadêmico e para análises rápidas em determinados diagnósticos de campo.

Por fim, de posse do mapa de temperatura, visamos obter as tensões térmicas nas camadas/interfaces, bem como determinar a vida útil da estrutura de revestimento cerâmico, por meio de um acompanhamento na redução da aderência entre as camadas, mediante uma ciclagem de carregamentos térmicos.

REFERÊNCIAS

BAUER, Elton et al. **Estudo do comportamento à fadiga das argamassas e sua relação com as patologias e danos nas fachadas**. In: Patorreb 2012: 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios: 12-14 de abril de 2012, Santiago de Compostela. Colexio Oficial de Arquitectos de Galicia, 2012. p. 63.

BARBOSA, A. DA S. (2013). **Estudo Numérico-Computacional e Analítico do Choque Térmico em Fachadas de Edificações**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

BREBBIA, C. A. e DOMINGUEZ J., **Boundary Elements: An introductory Course**. Second Edition. Computational Mechanics publications. Southampton Boston – Mc Graw-Hill Book Company, 1992.

CAMPANTE, E. F. & BAÍA, L. L. M. **Projeto e Execução de revestimento Cerâmico CTE, Primeiros Passos da qualidade no Canteiro de Obra**, O Nome da Rosa, São Paulo, SP, 2003.

CARASEK, H.. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

CHAGAS, S. V. M. (2009). **Estudo e proposta de um modelo de resistência à fadiga de argamassa de revestimento em estado plano e tridimensional de tensões**, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CHEW, M. Y. L. (1992). **The Study of Adhesion Failure of Wall Tiles**. *Building and Environment*, v 27, n° 4, pp 493-499.

DELGADO NETO, A. M.; GOMES, G. ; GUIMARÃES, D.C. . **BEMLAB2D: Graphical Interface For Modeling, Viewing And Analysis With Boundary Element - An Application In Elastostatic Problems**. In: XXXVII Iberian Latin American Congress On Computational Methods In Engineering, 2016, Brasília. XXXVII Iberian Latin American Congress On Computational Methods In Engineering, 2016.

FIORITO, A J. S. I. (2009)., “**Manual de Argamassas e Revestimentos – Estudos e Procedimentos de Execução**”, 2° Ed. Editora Pini. São Paulo, SP.

GOMES, G., “**Aplicação dos Métodos de Elementos de Contorno e Reciprocidade Dual em Problemas de Plasticidade 2d Orientada a Objeto**”. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 002A/06 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 168p., 2006.

GUIMARÃES, D. C. (2017). **Correlação Numérico - Experimental entre o Método dos Elementos de Contorno e Termografia Aplicados a Placas de Argamassa**, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

JUNGINGER, MAX (2003). **Rejuntamento de Revestimento Cerâmico: Influência das Juntas de Assentamento na Estabilidade de painéis**. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 141p.

PIRES, É. G. **Implementação e aplicação do método dos elementos de contorno com reciprocidade dual em problemas de potencial**. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.

RIVERO, R. **Acondicionamento Térmico Natural - Arquitetura e Clima**, Editora da Universidade, Rio Grande do Sul, 1985.

SARAIVA, A. G. **Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistema de Revestimento Cerâmico de Fachada**. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 1999.

SEGAT, G.T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**. Dissertação de mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

SILVA, M. N. B. (2000). **Avaliação Numérica com o Método dos Elementos Finitos das Tensões Termo-Mecânica em Sistema de Revestimento de Fachadas**. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

THOMAZ, E. “**Trincas em Edifícios - causas, prevenção e recuperação**.” Co-edição IPT/EPUSP/ PINI. São Paulo, SP, 1989.

UCHÔA, J. C. B. (2007). “**Procedimento numérico e experimental para a avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento**”, Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, DF.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-432-0

