



APLICAÇÃO E ANÁLISE VIA MEC EM PROBLEMAS DE TERMOELASTICIDADE 2D

ANALYSIS AND APPLICATION OF BOUNDARY ELEMENTS IN THERMOELASTIC PROBLEMS

Luis Vinicius Pereira Silva (1); Gilberto Gomes (2); João Carlos Barleta Uchôa (3)

(1) Mestrando em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil.

(2) Dr. Prof., Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil

(3) Dr. Prof., Instituto Federal de Brasília, Brasília - DF, Brasil

Email para Correspondência: luis.vinicius.uch@gmail.com; (P) Luis Vinicius Pereira Silva

Resumo: Os materiais constituintes das fachadas, especificamente da estrutura de revestimento cerâmico, estão sujeitos à 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 do Elemento 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, usando uma interface gráfica chamada BEMLAB2D, perfis constituídos de emboço, argamassa colante e cerâmica visando determinar a distribuição de temperatura baseado em um programa com sub-regiões para problemas de potencial. Posteriormente, as tensões térmicas serão adquiridas por meio do programa de termoelasticidade aplicando as condições de contorno relativas ao problema e incluindo o mapa de temperatura determinado na etapa anterior. 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 modeling, using a graphical interface called BEMLAB2D, profiles consisting of plaster, bonding mortar and ceramic to determine the temperature distribution based on a BEM program with subregions. Sequentially, the thermal stresses will be acquired through the thermoelastic BEM program and including the temperature map determined in the previous step. 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, tratam-se de estruturas sujeitas a diversos esforços. Fiorito (2009), enfatiza que o sistema cerâmico, trata-se de uma estrutura por ser constituído por diversas camadas com propriedades diferentes e por possuir suas deformações particulares. Conseqüentemente, tais estruturas estão sujeitas a diversas patologias, destacando dentre elas, o deslocamento, que de acordo com Segat (2005), as manifestações patológicas possuem como origem um conjunto de fatores que atuam sobre a estrutura, como por exemplo os carregamentos térmicos.

Assim, Barbosa (2013), salienta que 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, levando a estrutura de revestimento submeter-se a um choque térmico. E conforme sustenta Silva (2000), a variação de temperatura entre as diversas camadas que compõem a estrutura de revestimento, causa uma diferença de tensões e conseqüentemente 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, pois a compreensão do gradiente térmico que a estrutura estar sujeita, apresenta-se intrinsecamente ligado ao melhor entendimento do processo de fadiga da estrutura, assim, não será foco deste trabalho calcular as tensões de origem térmica, e nem avaliar numericamente o processo de fadiga na estrutura de revestimento.

2 O SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO

Dentre as possíveis funções atribuídas ao sistema de revestimento, Carasek (2007) apresenta algumas das quais considera mais relevante, sendo elas, a função de proteger a estrutura contra as ações externas, contribuição com o isolamento térmico, acústico e estanqueidade, além de propor regularização a 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.

Todas 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.

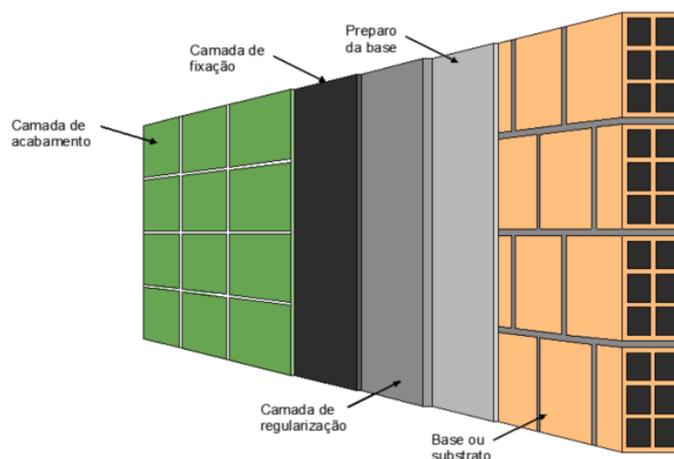


Figura 1. Estrutura de sistema de revestimento cerâmico
Fonte: (Junginger, 2003)

Uma pesquisa desenvolvida por Chew (1992), procurou avaliar a durabilidade da argamassa colante, utilizada no processo construtivo do sistema de revestimento cerâmico, sobre 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, realizou-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 como 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 à redução da resistência, acarretando em falhas no sistema devido às fissuras nos substratos ou por falhas nos rejuntas.

Para compreender melhor o efeito das tensões nas estruturas de revestimento observando-se a Figura 2, inicialmente à temperatura ambiente (Figura 2a). As tensões de tração sobre o sistema de revestimento cerâmico da 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 da tração entre as camadas de materiais diferentes da origem, também, 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 desprendimento 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).

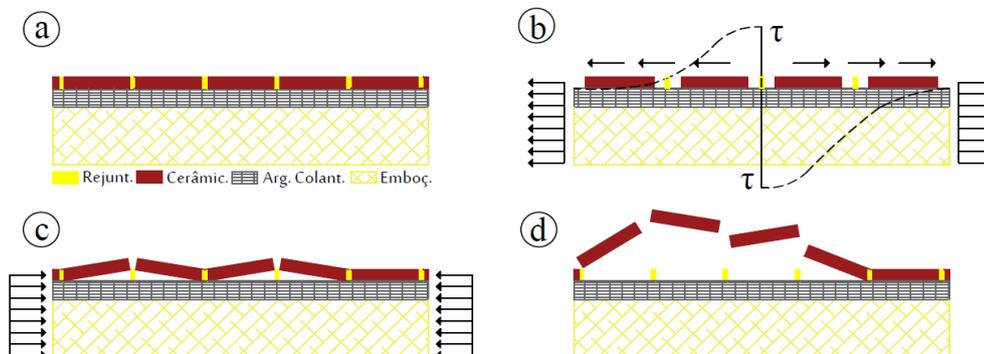


Figura 2. (a) Sistema à temperatura ambiente (T); (b) Cerâmica sob tensão de tração e cisalhamento ($T1 > T$) e (c) peças soltas devido à compressão ($T2 < T$), formando o “V” invertido; (d) Descolamento completo devido a ciclagem do carregamento

Fonte: (Fiorito, 2009)

3 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, 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).

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

A solução numérica da equação integral de contorno (Eq. (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 (GUIMARÃES, 2017).

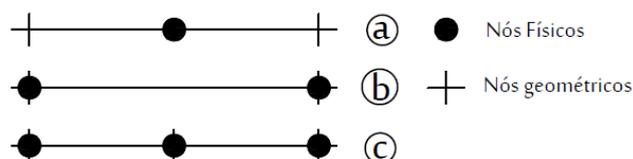


Figura 3. Diferentes tipos de elementos de contorno: a) Constante; b) Linear; c) Quadrático.

Fonte: (Guimarães, 2017)

3.3 Sub-regiões

A técnicas 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 com preocupação de 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).

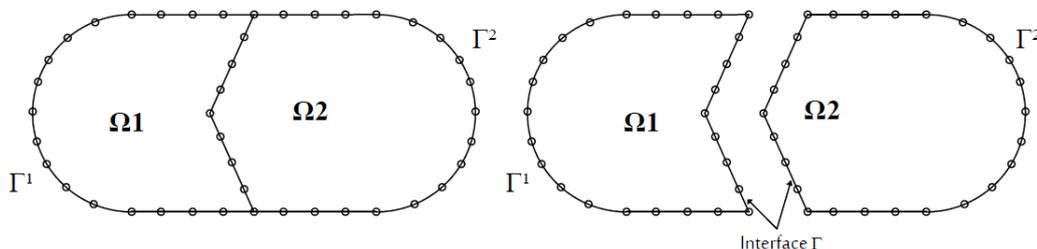


Figura 4. Domínio dividido em duas sub-regiões.

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 são implementados via MATLAB, a seguir na Figura 5 temos a interface gráfica do BEMLAB2D.

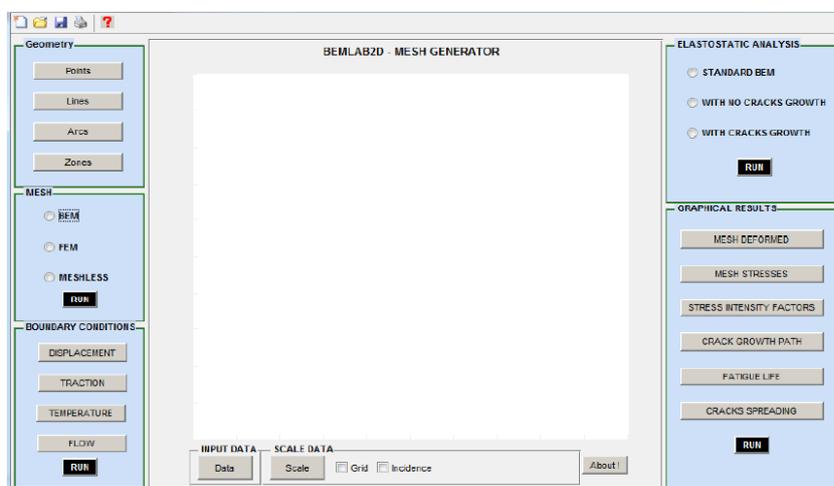


Figura 5. Interface gráfica do BEMLAB2D

Para a definição das propriedades físicas e mecânicas de cada material da estrutura de revestimento cerâmico foram extraídos os dados das pesquisas realizada por Saraiva (1999), Uchôa (2007) e Chagas (2009). A Figura 6, mostra a estrutura geométrica adotada no modelo em estudo e a Tabela 1, apresenta o resumo das propriedades atribuídas ao modelo numérico adotada.

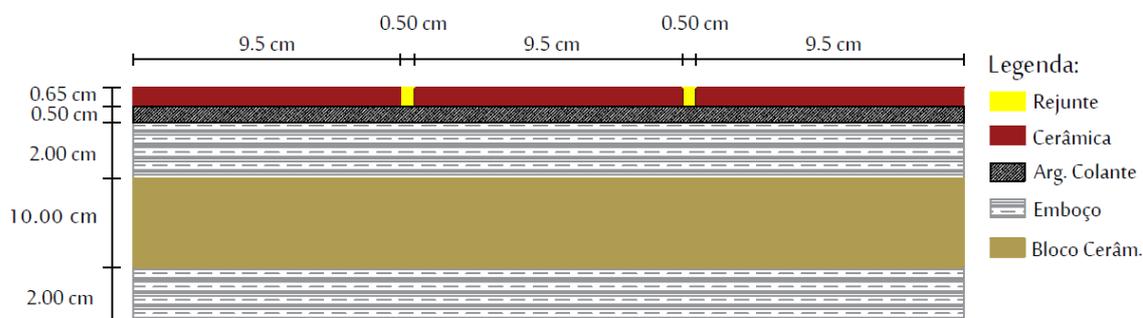


Figura 6. Modelo geométrico reduzido da estrutura

Tabela 1. Propriedade atribuída ao modelo

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

Para efeito de análise numérica será adotado duas situações para a avaliação do comportamento da estrutura do revestimento cerâmico com relação à distribuição das temperaturas atuantes nesse sistema. O critério utilizado para formação das situações foi a alteração da tonalidade da cerâmica da estrutura, empregando uma cerâmica clara e uma cerâmica escura, assim, o coeficiente de absorção térmica adotado para a cerâmica de cor clara é de 0,45 e para a cerâmica de cor escura é de 0,95, segundo os estudos realizado por Thomaz (1989), além da atribuição 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.

Tabela 2. Estudo dos casos que serão analisados

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

O transiente térmico aplicado a estrutura foi fornecido pelo INMET 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.

Tabela 3. Transiente de Temperatura de Brasília

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

Utilizando os conceitos de temperatura equivalente apresentados por Rivero (1985), e utilizando o coeficiente de absorção térmicas 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 atribuindo ao modelo numérico (Figura 8) 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 7.

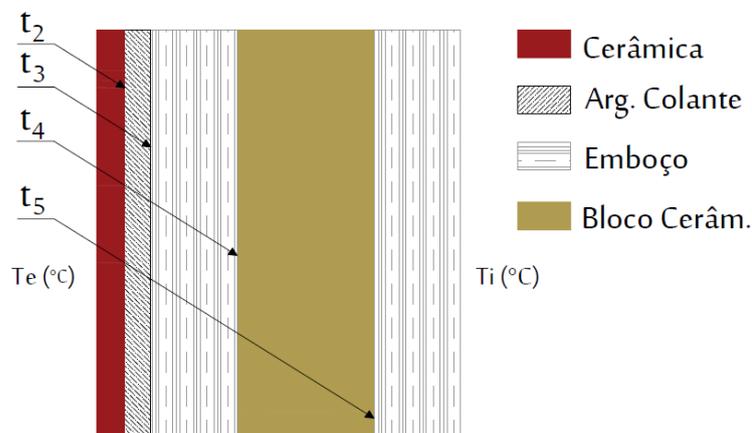


Figura 7. Leitura da temperatura nas interfaces da estrutura

O modelo físico geométrico discretizado, é composto por 5 sub-regiões, representando por meio delas a camada de cerâmica, argamassa colante, emboço, bloco cerâmico e outra camada de emboço, respectivamente, como pode ser observado nas Figuras 7 e 8. 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, resultado em um total de 102 de elementos constantes.

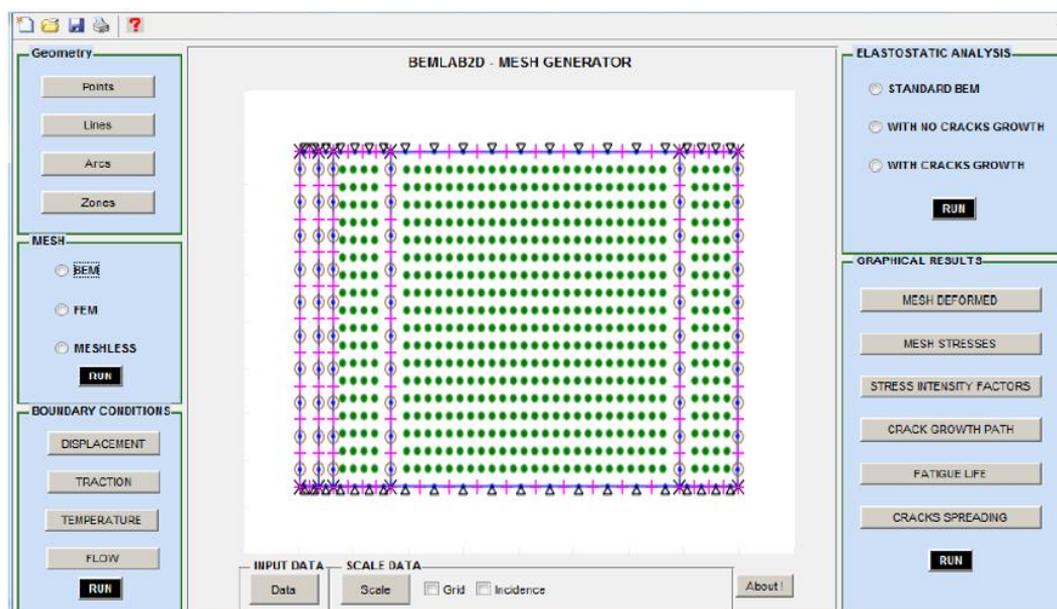


Figura 8. Modelo numérico gerado por meio do BEMLAB2D

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, sendo registrados às 6:00 e 16:00 horas.

Caso 1

O modelo retrata a estrutura de revestimento com cerâmica clara e temperatura interna de 25°C. As Figuras 9 e 10 representam a distribuição de temperaturas nas camadas da estrutura do revestimento.

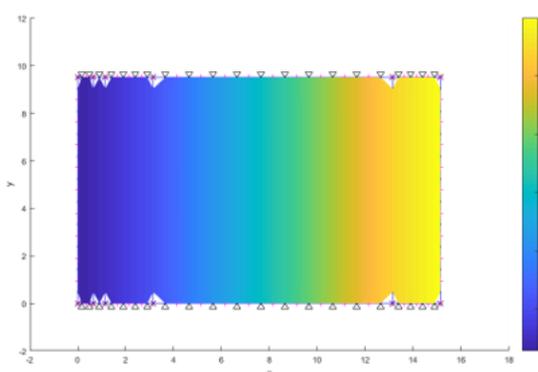


Figura 9. Distribuição de temperatura nas camadas às 6:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

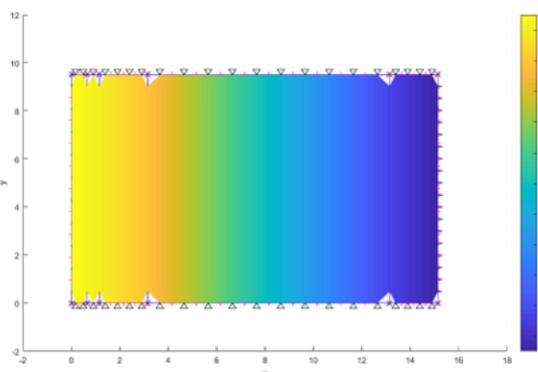


Figura 10. Distribuição de temperatura nas camadas às 16:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

A temperatura atribuída a camada da cerâmica às 6:00h no modelo numérico, após aplicação da teoria de temperatura equivalente foi de 22,14°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°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 possuem oscilações de temperaturas mais adversas.

Na Figura 11 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°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 °C.

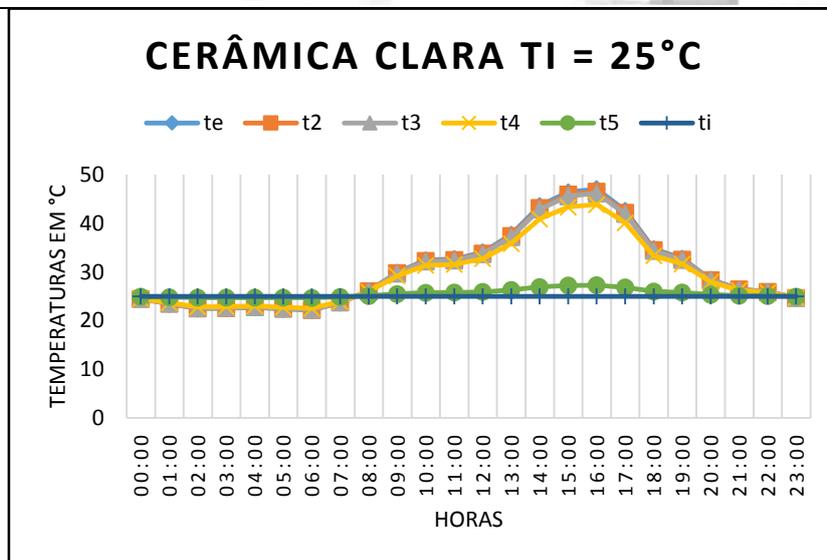


Figura 11. Distribuição de temperatura nas camadas da estrutura ao longo das 24 horas

Caso 2

O último caso trabalha com a estrutura de revestimento com cerâmica escura e temperatura interna de 25°C . A Figura 12 e 13 representam a distribuição de temperaturas nas camadas da estrutura do revestimento.

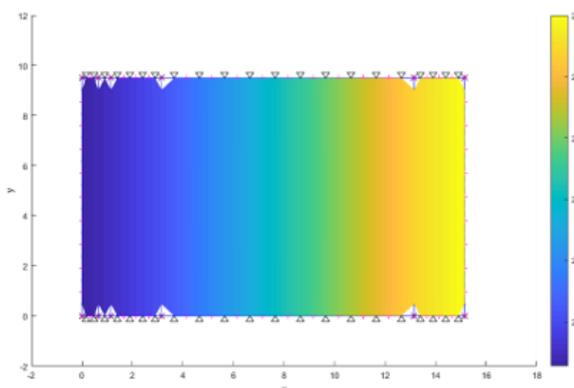


Figura 12. Distribuição de temperatura nas camadas às 6:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

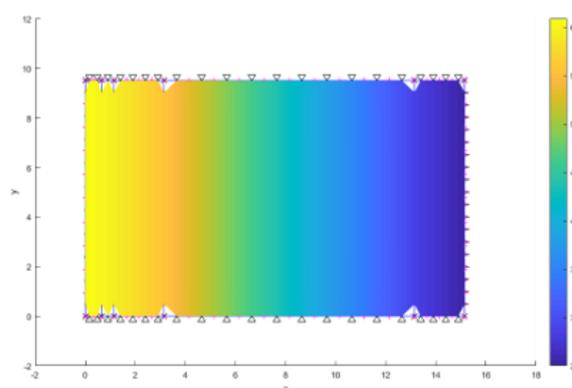


Figura 13. Distribuição de temperatura nas camadas às 16:00h, com $T_i = 25^\circ\text{C}$

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 14.

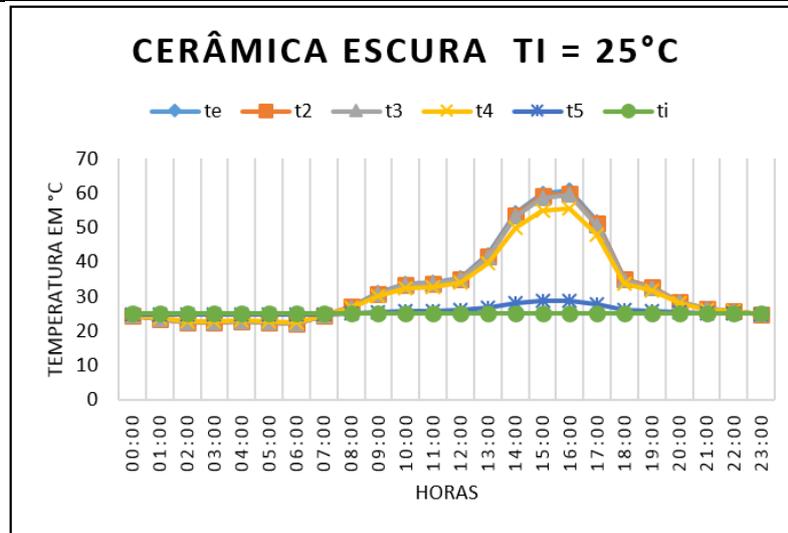


Figura 14. Distribuição de temperatura nas camadas da estrutura ao longo das 24 horas

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 $37,20^\circ\text{C}$.

5.1 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 a seguir mostra a comparação entre os valores obtidos por meio dos dois métodos numéricos.

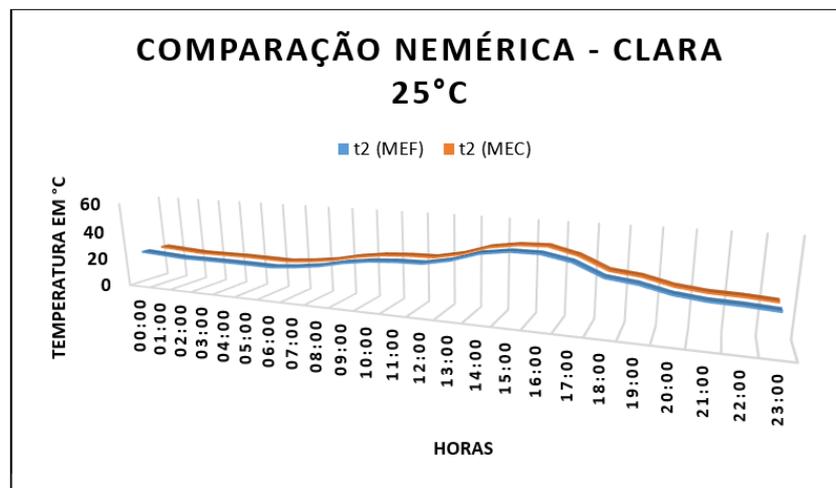


Figura 15. Comparação numérica entre MEC e MEF



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, obteve-se 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, surgem 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.

Portanto, de posse do mapa de temperatura, visa 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.

AGRADECIMENTOS

Um especial agradecimento ao meu orientador Gilberto Gomes e ao coorientador João Carlos Barleta Uchôa pelo apoio na pesquisa e pelo total incentivo, ao Programa de Pós-Graduação em Estruturas e construção Civil da Universidade de Brasília pela oportunidade e acolhimento, ao Capes pelo apoio financeiro.



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 Congresso 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, nº 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*", 2º 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.