

Análise das tensões entre argamassa colante e placas cerâmicas submetidas a esforços de natureza térmica

Ana Gabriela Saraiva

Universidade do Estado da Bahia, Salvador, BA
anagabriela@e-net.com.br

Elton Bauer

Universidade de Brasília, Brasília, DF
elbauer@zaz.com.br

Luciano Mendes Bezerra

Universidade de Brasília, Brasília, DF
lmbz@unb.br

Recebido em 13/09/2001; aceito em 21/12/2001

As fachadas das edificações estão sujeitas a diversos tipos de patologias, ocorrendo comumente o descolamento do revestimento, que pode acontecer na interface entre placas cerâmicas e argamassa colante ou entre esta e a argamassa de emboço.

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo através do Método dos Elementos Finitos, onde a partir do modelo numérico definido para a análise, verificaram-se as tensões existentes na interface entre a argamassa colante e as placas cerâmicas quando submetidas a esforços de natureza térmica. Foram analisados os esforços ao se variar a argamassa colante, segundo três situações distintas: variando-se a espessura da camada de emboço, o coeficiente de absorção térmica das placas cerâmicas e o tipo de rejunte utilizado na fachada modelo que foi estudada.

A partir do modelo estudado, observou-se que: ao se aumentar a espessura da camada de emboço, há uma ligeira diminuição nas tensões normais ao longo do eixo Y (eixo normal ao plano do sistema de revestimento em estudo); há um aumento de tensões em torno de 60% devido a utilização de placas cerâmicas com um maior coeficiente de absorção térmica; a utilização do rejunte com menor módulo de elasticidade produz um aumento de tensões normais ao longo do eixo Y na região das juntas e diminuição de tensões no centro das placas cerâmicas submetendo, desta forma, as placas cerâmicas à um esforço de flexão, alertando-se para a importância do ensaio para a determinação do módulo de resistência à flexão descrito nas normas brasileiras.

Palavras-chave: sistemas de revestimento cerâmico, tensões em fachadas.

Building façades may be affected by different kinds of pathologies. Coating displacement usually happens either between interface ceramic tiles and dry-set mortar or between this mortar and the rendering.

This work presents the results of a study based on the Finite Element Method, in which, starting from the numerical model defined for analysis, the stresses in the interface between dry-set mortar and ceramic tiles under thermic efforts were examined. These efforts were analysed with dry-set mortar in three different situations: by changing the thickness of the rendering, the thermal absorption coefficient of tiles and the ceramic tile grout used in the façade model studied.

It is possible to observe that when the thickness of the rendering increases, there is a slight reduction of normal stresses throughout the Y axis. Moreover, stresses increase approximately 60% when ceramic tiles with higher absorption coefficient are used. The use of ceramic tile grout with lower elasticity modulus produces higher normal stresses throughout Y axis in joint areas and lower stresses in the centre of the ceramic tiles, which are submitted to a flexural effort. This result reinforces the importance of the test for determining the flexural resistance modulus, as described by Brazilian standards.

Keywords: ceramic coating system, stresses in façades.

Introdução

Os revestimentos das fachadas das edificações devem desempenhar determinadas funções, dentre elas, contribuir para o conforto acústico e térmico do usuário. Por ser um elemento da edificação constantemente exposto às variações de temperatura, é natural que estejam, desta

forma, submetidas a tensões de natureza térmica.

Este trabalho apresenta um novo enfoque ao estudo do sistema de revestimento cerâmico de fachada submetido a tensões de natureza térmica. Os estudos aqui apresentados são parte da dissertação do Mestrado em Estruturas, desenvolvida na Universidade de Brasília, por Saraiva (1998).

A concepção dos sistemas de revestimento para fachadas engloba diferentes disposições construtivas com diversos materiais e componentes. Tradicionalmente, no Brasil, tem-se empregado de forma intensa sistemas com o uso de argamassa e sistemas compostos por peças cerâmicas. O sistema de revestimento escolhido para este estudo é composto por uma base ligada a uma camada de argamassa de emboço, seguida por uma fina camada de argamassa colante e, por fim, às peças cerâmicas e ao rejunte.

Buscou-se investigar a influência de disposições construtivas, particularmente – natureza da argamassa colante, material de rejunte, espessura da camada de emboço e gradiente térmico – no sistema de revestimento cerâmico para fachadas submetido a um determinado perfil térmico, através de um modelo numérico em elementos finitos. São apresentadas aqui as tensões obtidas entre a camada de cerâmica + rejunte e a camada de argamassa colante do sistema de revestimento com acabamento cerâmico.

Modelo numérico adotado

Para a modelação do sistema de revestimento, com a intenção de avaliar o estado de tensão e deformação existente, considerou-se que o mesmo é composto de:

argamassa de emboço, argamassa colante, peças cerâmicas e material de rejunte, e foi adotado um modelo em elementos finitos que será descrito a seguir.

Escolheu-se uma fachada representativa com extensão de 4,90 m em cada uma das direções, seguindo a recomendação de Fioritto (1994) sobre o posicionamento das juntas de movimentação para revestimentos cerâmicos externos. Considerou-se ainda a hipótese simplificadora de estado plano de deformação, o que significa assumir que a região da fachada de interesse está imersa num meio cuja dimensão perpendicular ao plano (direção Z) considerado é muito grande, conforme mostra a Figura 1. Dentro ainda desta região especificada, resolveu-se adotar um modelo padrão de tamanho reduzido, composto por argamassa de emboço, argamassa colante, três peças cerâmicas quadradas e material de rejunte para o preenchimento das juntas entre as peças cerâmicas, conforme Figura 2.

O programa ANSYS (1994), que foi utilizado para a modelação da fachada que se pretende estudar, possui uma vasta biblioteca de elementos finitos disponíveis para diversos tipos de análise estrutural e térmica. O modelo da fachada foi então discretizado, utilizando-se uma malha bem refinada e bastante regular composta por elementos finitos planos, tipo PLANE42.

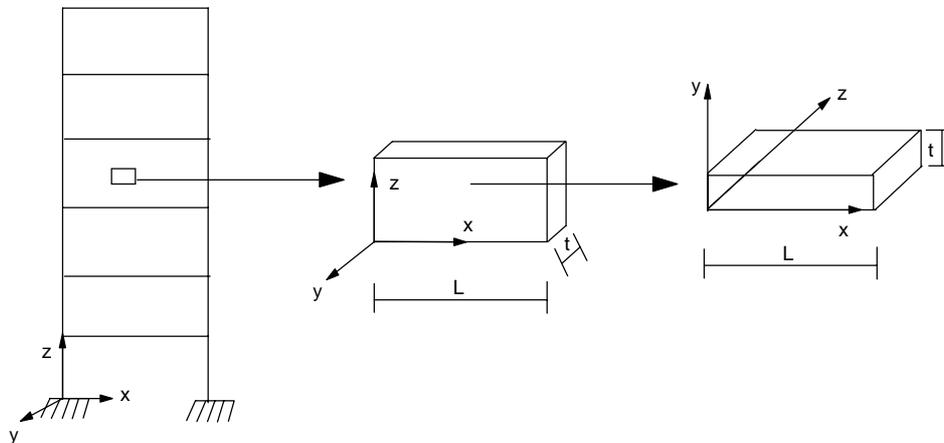


Figura 1 - Hipótese simplificada do estado plano de deformação

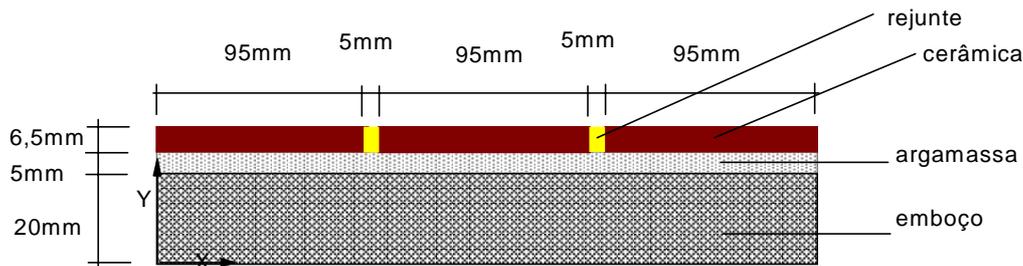


Figura 2 - Modelo reduzido adotado para avaliar o sistema de revestimento proposto

Este elemento pode ser utilizado na modelação de corpos sólidos em duas dimensões (2-D) para análise em estado plano de deformação, conforme as hipóteses simplificadoras adotadas e apresenta ainda a possibilidade de fazer uma análise a partir de carregamentos mecânicos e térmicos. O elemento possui quatro nós, tendo cada nó dois graus de liberdade (correspondendo às translações UX e UY nas direções X e Y respectivamente).

A distribuição das temperaturas através do sistema de revestimento será conhecida ao se submeter o modelo em elementos finitos a um gradiente térmico, que por simplificação foi aqui considerado em regime estacionário. De acordo com Rivero (1985), regime estacionário significa que a quantidade de calor que atravessa quaisquer planos paralelos entre si, na unidade de tempo, é a mesma - fluxo contínuo e uniforme de calor).

Fez-se portanto necessário efetuar uma análise térmica antes da análise de tensão e deformação, utilizando-se o elemento finito PLANE55 também de quatro nós, que tem por nó apenas um grau de liberdade, ou seja, a temperatura. A Figura 3 mostra os elementos PLANE42 e PLANE55 do programa ANSYS.

As propriedades relativas aos materiais devem ser fornecidas e especificadas para cada elemento finito usado na modelação do sistema de revestimento cerâmico. Além disso, existem nos elementos do ANSYS (1994) certas opções de análise (KEYOPT) que também fazem parte do *input* apropriado a ser atribuído a cada elemento (a opção KEYOPT = 0 indica estado plano). As propriedades requeridas por cada um dos elementos aqui utilizados estão resumidas na Tabela 1.

Definição das condições de contorno

A questão chave e dificuldade básica na precisão da modelação (utilizando-se métodos numéricos) está em definir condições de contorno que mais se aproximem da realidade, conforme afirma Barishpolsky (1980). Obviamente, para cada sistema de revestimento, a modelação numérica e as respectivas condições de contorno devem ser cuidadosamente estudadas.

As condições de contorno utilizadas no modelo numérico em elementos finitos são simplificadoras, haja visto se tratar de um primeiro estudo no âmbito da modelação de

tensões em sistemas de revestimento cerâmico para fachada. A seguir apresentam-se as condições de contorno adotadas:

(a) considerou-se a base sobre a qual está aplicado o sistema de revestimento estudado como rígida, visto que a espessura do sistema de revestimento de aproximadamente 30 mm é muito menor que a espessura da base. Isto equivale a ter deformações nulas na direção Y na parte inferior do modelo mostrado na Figura 4. Observa-se, entretanto, que para um estudo mais detalhado envolvendo um maior número de elementos finitos, sugere-se que seja considerada a interação com a base de aplicação do revestimento (seja esta base em concreto armado, blocos de concreto, blocos cerâmicos dentre outros);

(b) concebeu-se um modelo correspondente a um painel de 4,90 metros de extensão, o qual está representado pelo modelo reduzido a três peças cerâmicas mais duas partes laterais equivalentes ao restante do painel, sendo que estas partes laterais reduzidas representam os efeitos interativos entre a região das três peças cerâmicas e o remanescente da fachada. A Figura 4 mostra de forma esquemática quais foram as condições de contorno impostas no bordo inferior e nas laterais do modelo, que julgou-se melhor representar a situação real da fachada submetida ao carregamento considerado (gradiente de temperatura). As duas partes laterais, reduzidas a poucos centímetros, devem representar o restante da fachada e portanto devem ter propriedades e comportamento equivalentes ao que representam;

(c) não são considerados objetos de estudo as regiões das fachadas equivalentes nem na vizinhança das mesmas com o intuito de evitar perturbações naturalmente geradas no contorno, que podem produzir resultados não muito condizentes com a realidade;

(d) cabe observar que o modelo adotado visto na Figura 4 não é ideal para se estudar as tensões de cisalhamento entre as camadas do sistema de revestimento, pois não serão obtidas as tensões de cisalhamento máximas. Para o estudo das tensões em cisalhamento, seria aconselhável a construção de um modelo com pelo menos uma das laterais (direita ou esquerda) liberadas.

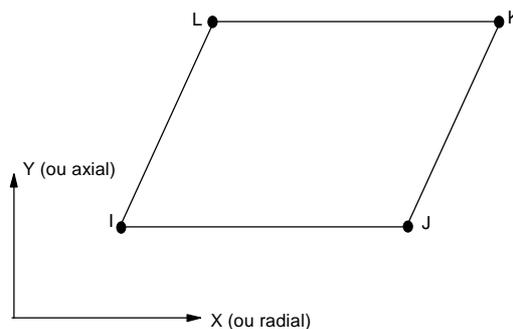


Figura 3 - Elemento PLANE42 e PLANE55 (do manual do ANSYS)

Tipo de elemento	PLANE 55	PLANE 42
Nós que definem o elemento	Nós I, J, K e L	Nós I, J, K e L
Graus de liberdade por nó	Temperaturas T em cada nó	Translações UX e UY
Propriedades do material	Condutividade térmica: KXX	Módulos de deformação: EX, EY
	Massa específica: DENS	Coefficiente de Poisson: NUXY
	Calor específico: C	Coefficiente de dilatação térmica: ALPX e ALPY
Carregamento de interesse	Temperatura imposta	Temperatura nos nós T(I), T(J), T(K) e T(L)
Opção de análise	Keyopt (3) = 0 (Plano)	Keyopt (3) = 2 (Estado plano de deformação)

Tabela 1 - Propriedades requeridas dos elementos PLANE 55 e PLANE 42

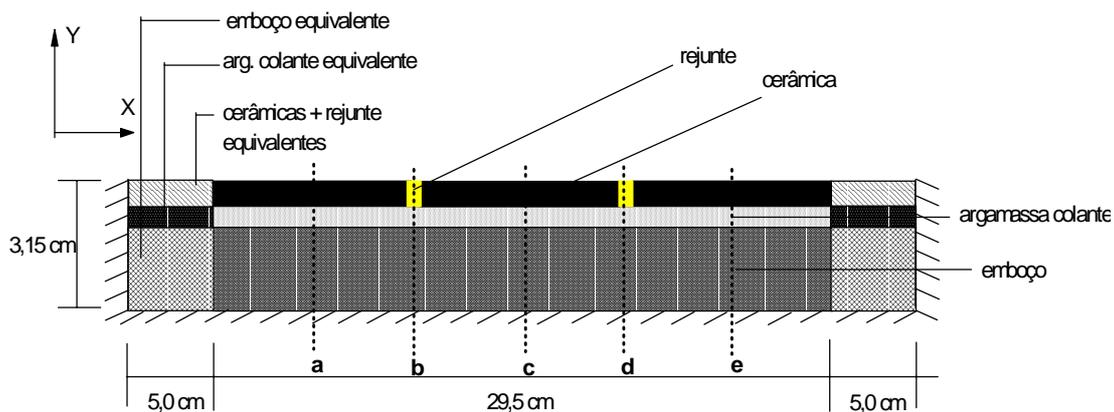


Figura 4 - Modelo estudado - observa-se as condições de contorno e os pontos considerados nesta análise

Propriedades atribuídas aos elementos

As propriedades dos materiais foram obtidas experimentalmente através de ensaios realizados em laboratório e, na impossibilidade da realização de alguns ensaios, foram atribuídos valores recomendados pela literatura consultada, como por exemplo, Jastrzebski (1977) e Rivero (1985), dentre outros. A Tabela 2 apresenta as propriedades atribuídas aos elementos PLANE55 e PLANE42.

Situações construtivas estudadas

Foram escolhidas algumas situações construtivas para a análise do sistema de revestimento cerâmico que se pretende estudar. Escolheram-se dois tipos de argamassa colante (aqui denominados tipos A e B) e a partir deles foram definidas variações de espessura da camada de emboço, o coeficiente de absorção térmica da cerâmica e o material utilizado como rejunte (utilizou-se um material de rejunte mais rígido - rejunte 1 e um rejunte menos rígido - rejunte 2). Na Tabela 3 estão apresentados os casos estudados, tanto para o sistema composto por argamassa colante tipo A, quanto para o sistema composto por argamassa colante tipo B, que podem ser justificados da seguinte forma:

(a) Fiorito (1994) alerta diversas vezes para os problemas que podem aparecer nos sistemas de revestimentos verticais devido à espessura exagerada da camada de argamassa de revestimento. Desta forma, tem-se que, quanto maior a espessura do emboço, maiores os riscos do aparecimento de patologias. Resolveu-se, então, estudar qual a influência da espessura do emboço no sistema de revestimento proposto, tanto para espessuras maiores, quanto para espessuras menores em relação a uma espessura de referência igual a 2,0 cm;

(b) sabe-se que o coeficiente de absorção térmica do material varia de acordo com a coloração da superfície receptora de radiação solar. Desta maneira, ao se utilizar um sistema de revestimento cerâmico para fachada constituído de peças cerâmicas com baixo coeficiente de absorção (cerâmicas claras), a fachada pode atingir uma certa temperatura. Porém, ao se utilizar um sistema de revestimento cerâmico para fachada constituído de peças cerâmicas com alto coeficiente de absorção (cerâmicas escuras), a fachada deve atingir uma temperatura superior ao caso anterior.

(c) resolveu-se estudar a influência da rigidez do material de rejunte nas tensões atuantes no sistema de revestimento cerâmico considerado e quais as alterações nas tensões deste sistema ao se utilizar um material de rejunte menos rígido (rejunte 2), com um módulo de elasticidade cerca de 14 vezes menor que o rejunte mais rígido (rejunte 1), conforme constatado nos ensaios de laboratório.

Materiais	Elemento PLANE55			Elemento PLANE42		
	Condutividade térmica (W/m °C)*	Massa específica (Kg/dm ³)	Calor específico (J/kg.°C)*	Módulo de elasticidade (GPa)	Coefficiente de dilatação térmica (°C ⁻¹)	Coefficiente de Poisson*
Emboço	1,40	2,31	1000	0,571	11,5 x 10 ⁻⁶	0,2
Argamassa colante A	0,65	1,68	1000	6,389	7,2 x 10 ⁻⁶	0,2
Argamassa colante B	0,84	1,89	1000	3,562	8,7 x 10 ⁻⁶	0,2
Rejunte 1	1,40	2,54	1000	7,879	4,2 x 10 ⁻⁶	0,2
Rejunte 2	1,40	2,31	1000	0,571	11,5 x 10 ⁻⁶	0,2
Cerâmica	2,00	2,51	920	41,600	6,8 x 10 ⁻⁶	0,2

* Propriedades coletadas na literatura consultada

Tabela 2 - Propriedades atribuídas aos elementos PLANE55 e PLANE42

Casos	Espessura da camada de emboço	Tipo de rejunte	Coefficiente de absorção
Caso 1 (referência)	20 mm	1	baixo
Caso 2	10 mm	1	baixo
Caso 3	50 mm	1	baixo
Caso 4	20 mm	1	alto
Caso 5	20 mm	2	baixo

Tabela 3 - Casos construtivos estudado

Análise térmica

Para a avaliação de tensões devido ao efeito da temperatura em um sistema de revestimento, foi escolhida uma fachada localizada em Brasília, DF. Fez-se necessário então, definir quais as temperaturas decorrentes da incidência, absorção solar e fluxo térmico no sistema de revestimento considerado.

Utilizando os conceitos de temperatura equivalente apresentados por Rivero (1985), e sendo o coeficiente de absorção térmica para superfície de cor clara = 0,45 e para superfície de cor escura = 0,95, tem-se que a temperatura na face externa da peça cerâmica será de : t_e (cerâmica clara) = 48,9 °C e t_e (cerâmica escura) = 63,1°C.

Com o intuito de simplificar a análise, considerou-se um carregamento térmico estacionário no instante em que a energia incidente é máxima, enquanto o interior da edificação permaneceu a uma temperatura confortável, gerando, portanto, um gradiente térmico entre a fachada e a parte interna da edificação.

Foi feito um estudo do fluxo de calor através do modelo, utilizando-se uma modelação numérica (utilizando-se o elemento PLANE 55) que traça o perfil térmico do modelo. De posse do perfil térmico e dos dados sobre o modelo, pode-se iniciar a análise das tensões (utilizando-se o elemento PLANE 42) nas diferentes camadas dos sistemas de revestimento. Este trabalho apresenta apenas

as tensões normais ao longo do eixo Y entre a camada de argamassa colante e a camada de cerâmica + rejunte.

Apresentação do modelo de referência

O modelo numérico de referência (caso 1) em elementos finitos é construído com os tipos de elementos, propriedades e condições de contorno apresentados anteriormente, sendo composto por uma camada de emboço com 20 mm de espessura; uma camada de argamassa colante tipo A com 5 mm de espessura; uma camada composta por três peças cerâmicas quadradas de 95 mm de lado, 6,5 mm de espessura e baixo coeficiente de absorção térmica (cor clara), além de rejunte tipo 1. O modelo estudado foi discretizado, totalizando 2446 elementos finitos (PLANE 55 ou PLANE 42, dependendo da análise ser térmica ou de tensões, respectivamente), correspondendo a 2655 nós.

Apresentação dos resultados

Os resultados dos esforços atuantes nas diversas situações que estão sendo estudadas, serão apresentados fazendo-se duas análises paralelas (de forma comparativa), empregando-se argamassas colantes de propriedades diferentes, conforme Tabela 3, sendo numa modelagem utilizada a argamassa colante tipo A e na outra a argamassa colante tipo B. Estas argamassas, por possuírem

propriedades físico-mecânicas diferentes (sobretudo o módulo de elasticidade), podem levar a comportamentos distintos em relação às tensões resultantes.

A Figura 4 apresenta o modelo estudado, identificando os pontos que neste trabalho serão considerados para a avaliação das tensões. Os pontos a, c, e representam as regiões das peças cerâmicas e os pontos b, d representam a região das juntas.

A apresentação dos resultados é colocada sob três enfoques para cada argamassa colante e para cada situação de estudo. Foram traçados gráficos onde é possível comparar a distribuição das tensões normais ao longo do eixo Y entre a camada de cerâmica + rejunte e argamassa colante, observando-se a influência da espessura da camada de emboço, do coeficiente de absorção térmica da cerâmica e do tipo de rejunte nas tensões de natureza térmica entre a camada de cerâmica + rejunte e a camada de argamassa colante do sistema de revestimento cerâmico adotado.

Influência da espessura da camada de emboço

A variação na espessura da camada de emboço está retratada na Figura 5 (caso 1) para camada de emboço com 20 mm, Figura 6 (caso 2) para camada de emboço com 10 mm e Figura 7 (caso 3) para camada de emboço com 50 mm. Em todas as análises de tensões que se seguem, consideram-se constantes o coeficiente de absorção térmica da cerâmica (baixo) e o material de rejunte utilizado (tipo 1).

Observa-se inicialmente que nos casos 1, 2 e 3, todas as tensões são positivas (tração). Na região entre as peças

cerâmicas e a argamassa colante (pontos a, c, e), as tensões são praticamente iguais para os sistemas constituídos por argamassa colante A e B. Observa-se, contudo, uma ligeira diminuição nas tensões normais ao longo do eixo Y ao se aumentar a espessura da camada de emboço para os sistemas compostos tanto por argamassa colante tipo A, quanto por argamassa colante tipo B.

Para a região entre as juntas e a argamassa colante (pontos b, d), as tensões são bastante diferentes entre o sistema com argamassa colante A e B. Para o sistema com argamassa colante B, a tensão na região entre as juntas e a argamassa colante é cerca de três vezes superior à tensão para o sistema com argamassa colante A. Isto se deve à argamassa colante B ser mais deformável (menor módulo de elasticidade), permitindo-se, assim, um maior deslocamento relativo entre peças cerâmicas e argamassa colante, “forçando”, portanto, com mais intensidade, a “expulsão” do rejunte.

Pode-se observar que na região abaixo das juntas (pontos b, d) tem-se valores positivos nas tensões normais ao longo do eixo Y na interface argamassa colante/peças cerâmicas. Isto pode ser explicado devido à deformabilidade do rejunte ser maior que a das peças cerâmicas. Há uma tendência à “flambagem” das peças cerâmicas e de “expulsão” do rejunte, pois abaixo do material de rejunte há a camada de argamassa colante impedindo o deslocamento para baixo. Ele tenderá a ir para fora do modelo, provocando, assim, tensões de tração nesta região e compressão na interface entre argamassa colante/emboço (Figura 8.)

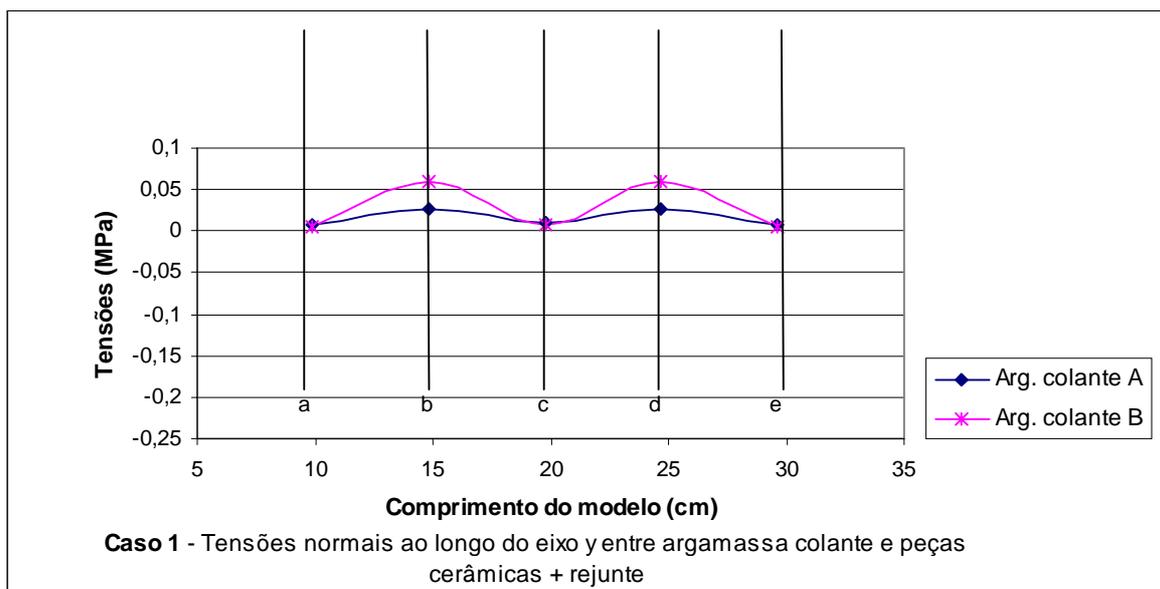


Figura 5 - Níveis de tensões normais ao longo do eixo Y entre a camada de argamassa colante e peças cerâmicas do sistema de revestimento para o caso 1 (emboço com 20 mm, coeficiente de absorção térmica da cerâmica baixo e rejunte tipo 1)

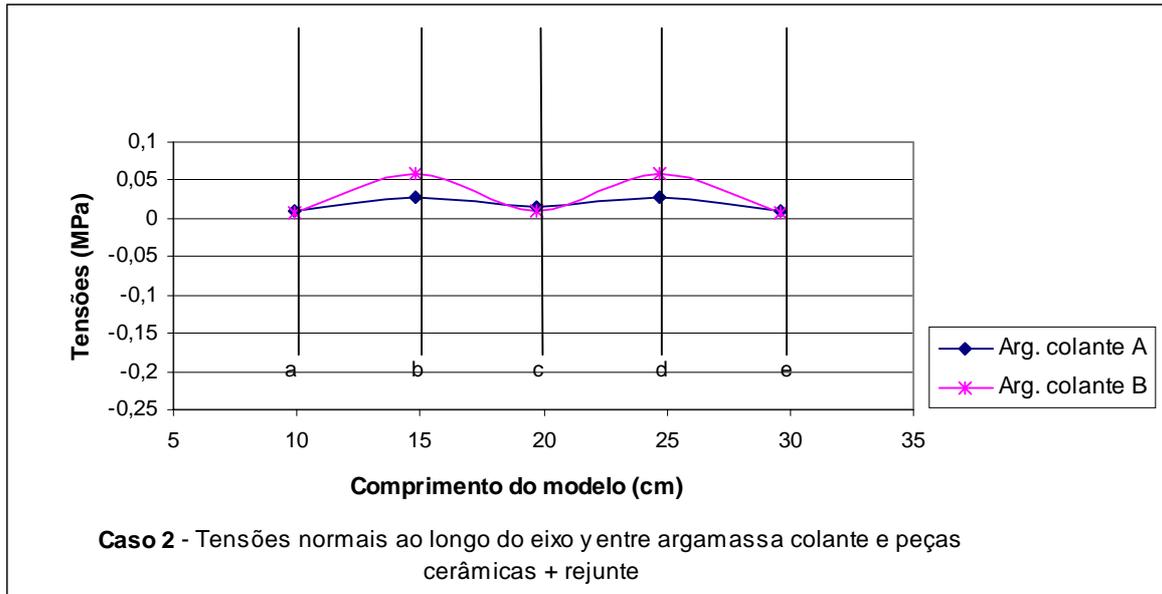


Figura 6 - Níveis de tensões normais ao longo do eixo Y entre a camada de argamassa colante e peças cerâmicas do sistema de revestimento para o caso 2 (emboço com 10 mm, coeficiente de absorção térmica da cerâmica baixo e rejunte tipo 1)

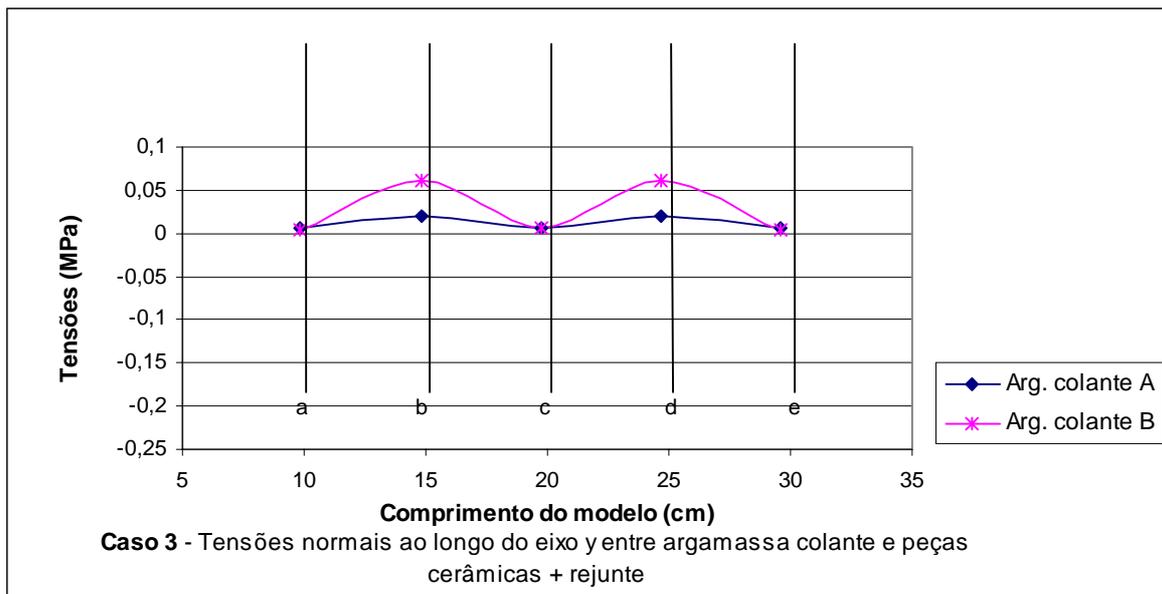


Figura 7- Níveis de tensões normais ao longo do eixo Y entre a camada de argamassa colante e peças cerâmicas do sistema de revestimento para o caso 3 (emboço com 50 mm, coeficiente de absorção térmica da cerâmica baixo e rejunte tipo 1)

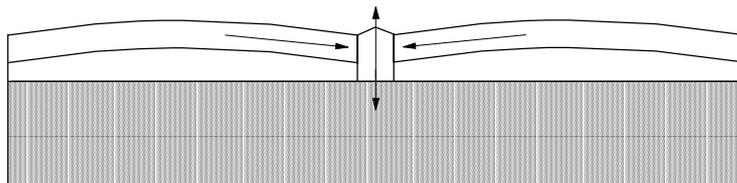


Figura 8 - Comportamento na região das juntas mostrando tendência à tração no rejunte

Influência do coeficiente de absorção térmica da peça cerâmica

A alteração do coeficiente de absorção térmica das peças cerâmicas aparece na Figura 5 (caso 1) para cerâmica com baixo coeficiente de absorção térmica e na Figura 9 (caso 4) para cerâmica com alto coeficiente de absorção térmica. Em todas as análises de tensões que se seguem, consideram-se constantes a espessura da camada de emboço (2,0 cm) e o material de rejunte utilizado (tipo 1).

Ao se aumentar o coeficiente de absorção térmica da cerâmica utilizada nos sistemas de revestimentos compostos por argamassas colantes A e B, aumenta-se também o carregamento, isto é a temperatura. Portanto, observa-se um aumento de 60% nos valores das tensões em relação ao caso 1 apresentado anteriormente.

Analogamente ao item anterior, todas as tensões são positivas, sendo que as tensões na região entre as peças cerâmicas e argamassa colante (pontos a, c, e) são praticamente iguais para os sistemas compostos por argamassa colante A e B, enquanto que na região entre as juntas e a argamassa colante (pontos b, d), as tensões são bastante diferentes entre os dois sistemas. Para o sistema com argamassa colante B, a tensão na região entre as juntas e a argamassa colante é cerca de três vezes superior à tensão para o sistema com argamassa colante A.

As tensões normais ao longo do eixo Y, na interface das camadas de argamassa colante/peças cerâmicas+rejunte, são maiores para o sistema composto por argamassa colante A na região abaixo das peças cerâmicas (pontos a, c, e) e menores na região abaixo das juntas (pontos b, d) em relação ao sistema composto por argamassa colante B. Isso se deve ao fato da argamassa colante B ser mais deformável, permitindo um deslocamento relativo maior entre cerâmicas e argamassa colante, expulsando com maior intensidade o rejunte.

Influência do tipo de rejunte

A influência do tipo de rejunte está apresentada através da comparação entre a Figura 5 (caso 1), onde tem-se o rejunte tipo 1, com maior módulo de elasticidade e a Figura 10 (caso 5), onde tem-se o rejunte tipo 2, com menor módulo de elasticidade. As demais propriedades, como por exemplo, a espessura da camada de argamassa de emboço e o coeficiente de absorção térmica, permaneceram constantes.

Diferente dos casos expostos anteriormente, as tensões só são positivas nas regiões entre as peças cerâmicas e argamassa colante, porém as tensões continuam ligeiramente maiores para o sistema com argamassa colante A (nota-se um aumento em torno de 3 vezes para a argamassa colante A e 3,4 vezes para a argamassa colante B, em comparação ao caso 1). Na região entre as juntas e a argamassa colante A (pontos b, d), observa-se que os valores na região das juntas passaram a ser negativos neste caso.

Diferente das tensões normais em Y apresentadas nas comparações anteriores, verifica-se valores negativos nos pontos b e d no caso 5 (situação com rejunte mais deformável). Isto se deve ao módulo de elasticidade do rejunte ser ainda menor nesta situação que o módulo de elasticidade das peças cerâmicas, permitindo uma maior deformação do modelo quando submetido ao carregamento térmico, tendendo assim a “empurrar” o rejunte para a camada de argamassa colante, surgindo daí as tensões de compressão nesta região, como apresentado pela Figura 11.

As configurações das Figuras 5, 6, 7, 9 e 10 deixam claro o esforço de flexão a que as peças cerâmicas estão submetidas (devido ao aumento das tensões na região das juntas e diminuição no centro das peças cerâmicas).

Assim, alerta-se para a importância do ensaio para a determinação do módulo de resistência à flexão, descrito em detalhes no anexo C da Norma NBR13818 (ABNT, 1997).

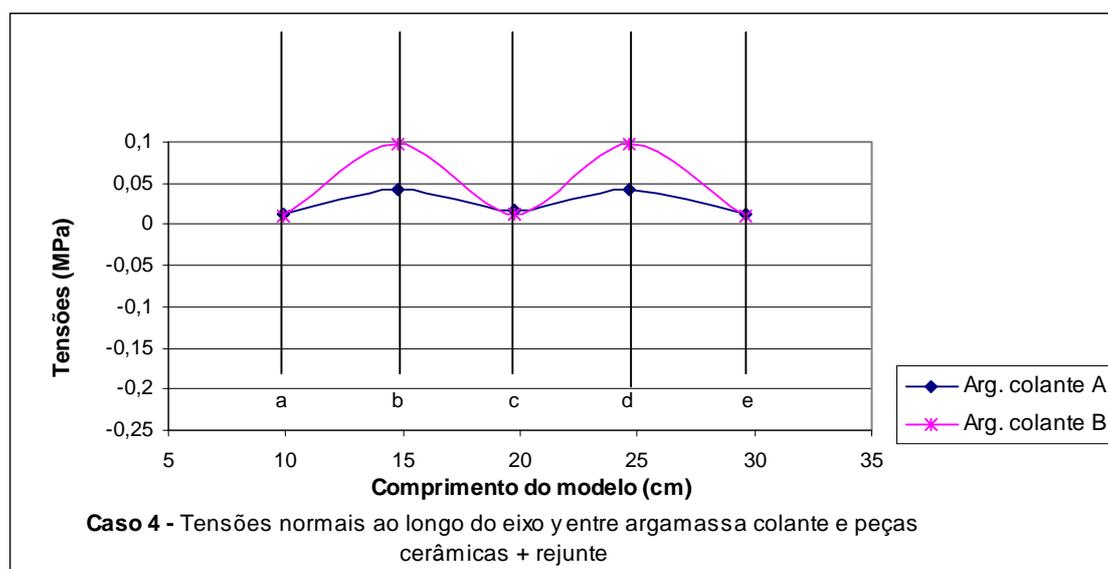


Figura 9 - Níveis de tensões normais ao longo do eixo Y entre a camada de argamassa colante e peças cerâmicas do sistema de revestimento para o caso 4 (emboço com 20 mm, coeficiente de absorção térmica da cerâmica alto e rejunte tipo 1)

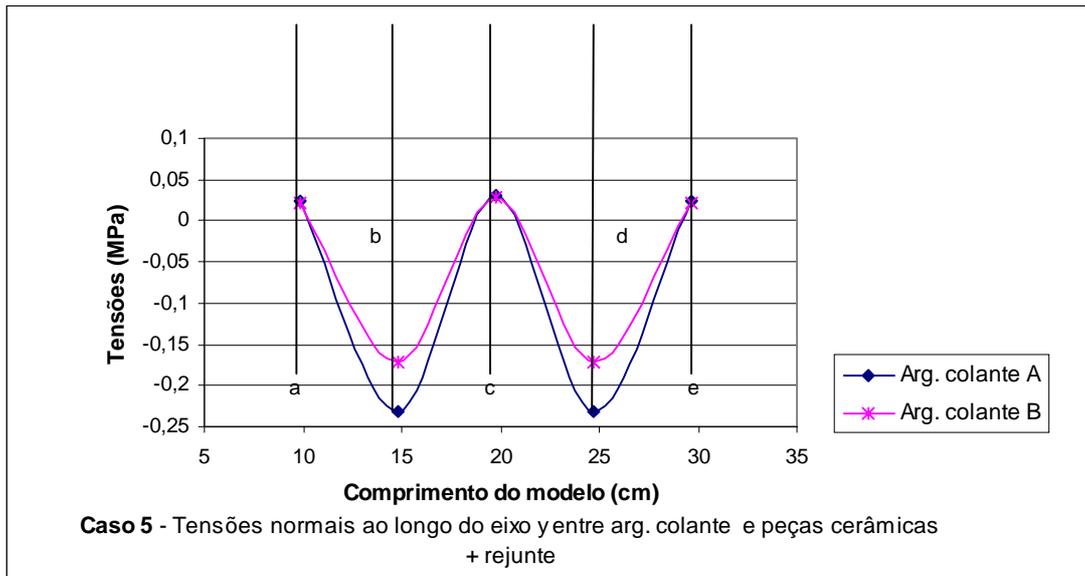


Figura 10 - Níveis de tensões normais ao longo do eixo Y entre a camada de argamassa colante e peças cerâmicas do sistema de revestimento para o caso 5 (emboço com 20 mm, coeficiente de absorção térmica da cerâmica baixo e rejunte tipo 2)

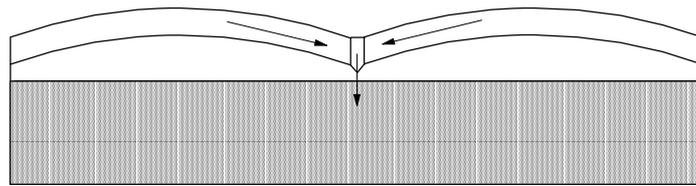


Figura 11 - Comportamento na região das juntas mostrando tendência à compressão

Considerações finais

Considerando a metodologia aqui descrita onde, apesar da pequena quantidade de amostras ensaiadas e do modelo numérico simplificado e sendo considerado apenas o carregamento de natureza térmica, algumas considerações podem ser feitas:

(a) Através da avaliação das tensões pode-se observar que não há ruptura por carregamento estático entre as camadas do sistema de revestimento devido a tensões normais em Y (tensões de arrancamento à tração) para o modelo estudado, submetido a tensões de natureza exclusivamente térmica.

(b) De modo geral, as tensões normais ao longo do eixo Y na região das juntas são menores para o sistema de revestimento com acabamento cerâmico composto por argamassa colante com maior módulo de elasticidade (neste caso argamassa colante A). Porém, como essas alterações nas tensões não são significativas, acredita-se que se feita a consideração de outras solicitações, como por exemplo, o peso próprio das camadas, a espessura da camada de emboço poderia influir nessas tensões.

(c) Apesar de não provocar alterações significativas nas tensões ao longo do eixo Y, verifica-se uma ligeira

diminuição nos valores das tensões nas peças cerâmicas ao se aumentar a espessura do emboço;

(d) As tensões aumentam em torno de 60% ao se utilizar peças cerâmicas com alto coeficiente de absorção térmica (cores escuras).

(e) A utilização de rejunte com menor módulo de elasticidade (caso 5), produz um aumento nas tensões normais ao longo do eixo Y abaixo das juntas na interface argamassa colante/ cerâmicas e rejunte;

(f) A partir das Figuras 5, 6, 7, 9 e 10 apresentadas, destaca-se a importância dos ensaios para a determinação da resistência à flexão nas peças cerâmicas da NBR 13818 (ABNT, 1997)

(g) Na análise das tensões foram estudados apenas cinco pontos (a, b, c, d, e) do modelo, portanto estas conclusões são simplificadas e válidas apenas para as regiões estudadas. Para um maior aprofundamento deve-se estudar o comportamento das tensões ao longo de todo o modelo.

(h) A partir dos estudos realizados, observou-se a necessidade de estudos e normas específicas para o material de rejunte.

Referências bibliográficas

- ANSYS. **Analysis System**. Houston, PA: ANSYS, 1994. 5v.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13818**: placas cerâmicas para revestimento: especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
- BARISHPOLSKY, B.M.A Combined Experimental and Numerical Method for the Solution of Generalized Elasticity Problems. In: SESA INTERNATIONAL CONGRESS ON EXPERIMENTAL MECHANICS, 4., 1980, Boston, MA. **Proceedings...** Boston: [s.n.], 1980. v. 20, p. 345-349.
- FIORITTO, A.J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. São Paulo: Pini, 1994.
- JASTRZEBSKI, Z.D. **The Nature and Properties of Engineering Materials**. New York: John Willey, 1977.
- RIVERO, R. **Acondicionamento Térmico Natural**: arquitetura e clima. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1985.
- SARAIVA, A.G. **Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachada**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Brasília, Brasília.