

# ESTUDO NUMÉRICO DA INFLUÊNCIA DO TRAÇO DA ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO EM BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS

Numerical study of influence of the trace of laying mortar on ceramic structural blocks

Jacson Luiz Zaparoli<sup>1</sup>; Gilson Francisco Paz Soares<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Civil da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus de Erechim. E-mail: jacsonzaparoli@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professor e Coordenador do Curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões – URI Câmpus de Erechim. E-mail: gilsonfpa@uricer.edu.br

Data do recebimento: 11/02/2016 - Data do aceite: 29/04/2016

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência do traço da argamassa de assentamento no comportamento mecânico de um tipo de bloco cerâmico estrutural de parede vazada, utilizado em sistemas construtivos de alvenaria estrutural, através da aplicação do Método dos Elementos Finitos, com a utilização do programa *ANSYS*<sup>®</sup>. Foram propostos cinco modelos de prismas, compostos por dois blocos assentados em uma camada de argamassa. Um dos prismas pressupõe a mesma resistência à deformação para a argamassa e aos blocos, em outros dois, a argamassa tem resistência menor que nos blocos, e, nos demais, a argamassa tem resistência maior que os blocos. Os resultados evidenciaram a influência da resistência à deformação da argamassa de assentamento no comportamento mecânico do prisma, onde a argamassa que teve o melhor resultado foi a com menor resistência à deformação em comparação com os blocos, confirmando postulados teóricos.

**Palavras-chave:** Argamassa de assentamento. Comportamento mecânico. Bloco cerâmico estrutural. Método dos elementos finitos.

**ABSTRACT:** This work aims to study the influence of the trace of the laying mortar on the mechanical behavior of a type of structural ceramic block of leaked wall, used in building systems of masonry, by applying the finite element method, using the *ANSYS*<sup>®</sup> program. Were proposed five models of prisms composed of two blocks seated on a layer of mortar. One of the prisms

assumes the same deformation resistance to the mortar and blocks, the other two the mortar has a lower resistance than the block, and the others, the mortar has a higher resistance than the blocks. The results show the influence of the deformation resistance of the mortar on the mechanical behavior of the prism where the mortar had the best result was the one with lowest resistance to deformation in comparison with the blocks, confirming theoretical postulates.

**Key words:** Laying mortar, mechanical behavior, structural ceramic block, Finite Element Method.

## Introdução

Alvenaria é um elemento formado por blocos unidos por meio de um ligante, formando uma estrutura monolítica. Dentre os tipos de alvenaria, duas são de suma importância nos processos construtivos de edificações, a de vedação e a estrutural. Os dois tipos possuem funções de garantir estanqueidade, isolar e repartir ambientes. Quanto a carregamentos, a de vedação deve resistir somente ao seu peso próprio e a carregamentos gerados devido à utilização, enquanto que a estrutural é dimensionada de maneira a suportar cargas além do seu próprio peso, e também, carregamentos devidos à utilização e a cargas dinâmicas atuantes.

No que se refere à construção, a alvenaria estrutural deve seguir um rigoroso controle de qualidade, uma vez que falhas ocasionariam perda de resistência e, por consequência, gerariam patologias na edificação que, em alguns casos, poderiam levar à sua ruína. Nesse sentido, conhecer os materiais, em termos de composição e resistência, bem como o processo construtivo, é de fundamental importância já na fase de projeto. Ensaios experimentais e, mais atualmente, simulações numéricas computacionais são ferramentas indispensáveis para se ter este conhecimento a respeito dos materiais. Dispõem-se, hoje, de muitos programas ligados às mais diversas áreas de trabalho, incluindo a engenharia ci-

vil, sendo imprescindível a utilização desses programas computacionais como ferramenta para a resolução dos mais simples até os mais complexos problemas da engenharia.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi o de estudar a influência do traço da argamassa de assentamento no comportamento mecânico de um tipo de bloco cerâmico estrutural de paredes vazadas, utilizado em sistemas construtivos de alvenaria estrutural, através da aplicação do Método dos Elementos Finitos (MEF), com a utilização do programa *ANSYS*®.

## Revisão da Literatura

Mohamad (2007) realizou o estudo de vários itens referentes à alvenaria estrutural, sendo eles: análise crítica dos resultados das principais produções científicas acerca das principais variáveis que levam o conjunto bloco-argamassa à ruptura; ensaios de caracterização física e mecânica das argamassas de assentamento; ensaio de caracterização mecânica de prismas e blocos de concreto com três fiadas, bem como com três fiadas e uma junta vertical intermediária de argamassa; ensaio de resistência de compressão de paredes de bloco de concreto; análise da deformabilidade axial e lateral e modo de ruptura de prismas e paredes submetidas à compressão uniaxial e simulação numérica,

comparando com os ensaios experimentais. As principais conclusões são: houve um aumento da rigidez da argamassa devido ao confinamento; a função linear foi a que melhor aproximou o módulo de elasticidade da argamassa e a resistência à compressão; foram verificados diferentes tipos de porosidades nas argamassas, onde os microporos são produzidos pelo arranjo estrutural entre aglomerante e agregados e os macroporos acontecem devido à exudação, que gera um acúmulo de água na face do agregado; notou-se que houve grande influência do traço de argamassa (cimento:areia:cal) nas deformações axiais dos prismas; quanto aos modos de ruptura, para a combinação de prismas de três blocos e traço de argamassa I (1:0,25:3), foram simétricos, verticais e dispersos, já com o traço de argamassa II (1:0,5:4,5) tiveram uma associação de trincas verticais e esmagamentos localizados, também foi observado, que com o mesmo traço, houve o surgimento de esmagamentos localizados na argamassa, induzindo a tensões laterais de tração no bloco; os prismas com uma junta vertical tiveram menor resistência que os prismas executados somente com junta horizontal, sendo que isso pode ter ocorrido devido ao aumento progressivo do coeficiente de Poisson, quando inserida a junta vertical; a deformação de ruptura nos prismas com traço de argamassa I foi a metade da deformação dos prismas confeccionados com traço de argamassa II e traço de argamassa III (1:1:6), onde isso pode sugerir diferentes modos de ruptura; as deformações não lineares foram maiores à medida que se diminuiu a resistência da argamassa; o nível de tensão de tração atuante no bloco não foi suficiente para levar o mesmo à ruptura por tração e, por fim, na análise numérica, foi necessário confeccionar a junta vertical para obter um bom acordo com os resultados experimentais.

Santos (2008) analisou a influência da geometria do bloco cerâmico no desempe-

nho da alvenaria estrutural, sob compressão centrada, sendo utilizadas argamassas com resistências variadas. Foram estudadas duas geometrias de blocos cerâmicos, sendo o bloco cerâmico de paredes vazadas (BPV) e o bloco cerâmico de paredes maciças (BPM). Também foram utilizados quatro traços de argamassa, cuja resistência varia entre 4 MPa e 17 MPa. No ensaio experimental, foram submetidos à compressão as unidades, os prismas (duas e três fiadas de altura) e pequenas paredes (quatro fiadas de altura com dois blocos e meio). Também foi caracterizado o módulo de elasticidade para as argamassas, blocos, prismas e pequenas paredes. Houve aumento significativo da resistência da alvenaria quando utilizado o BPM em conjunto com uma argamassa mais resistente. Já esse aumento não foi expressivo quando utilizado o BPV.

Rizzatti et al. (2011) analisaram numericamente a influência da geometria dos blocos cerâmicos em paredes estruturais, onde foram estudadas quatro diferentes geometrias de blocos designadas por A, B, C e D, sendo os formatos A e B com septos arredondados e diferentes áreas líquidas; o bloco C com dois furos retangulares, e o bloco designado por D com um duplo septo central. O programa numérico abrangeu o estudo dos blocos, prismas e paredes estruturais, unidos por argamassa de assentamento, no intuito de verificar as distribuições das tensões nos blocos para as diferentes geometrias. Foi adotado o modelo mecânico elástico linear e isotrópico. Com base na análise dos resultados, pode-se concluir que as distribuições das tensões de compressão, ao longo do comprimento e da largura do bloco, foram uniformes, no entanto, as tensões de tração ao longo do comprimento foram distintas para as diferentes geometrias de blocos, onde, preliminarmente, verificou-se que a geometria do bloco tipo D, com duplo septo central, foi o que apresentou a distribuição de tensão mais uniforme, ou

seja, sem picos de concentração de tensão, podendo concluir ser este o mais eficiente para o uso em alvenaria estrutural entre os blocos analisados.

Moradabahi e Laefer (2014) analisaram a eficácia e as limitações de quatro métodos numéricos, para modelamento de descon-tinuidades existentes sob a forma de alve-naria danificada, quando comparado com o tradicional método dos elementos finitos. Os métodos comparados foram os seguintes: método “Micro-Poly”, método dos elementos distintos, método da deformação descontínua e método combinado da interface contínua. Foram avaliadas a facilidade de implementa-ção do modelo, a disponibilidade de dados de entrada, a aplicabilidade do modelo de falha e a capacidade de definir o estado inicial da estrutura como parte do modelo. Os métodos foram comparados uns com os outros e com o método dos elementos finitos. Avaliações qualitativas e relativas foram fornecidas quanto a aplicabilidade para a modelagem da alvenaria danificada.

## Metodologia

Os prismas foram elaborados com dois blocos sobrepostos, assentados com uma junta horizontal de argamassa com espessura de 1 cm, conforme estabelecido pela NBR 15812-2:2010.

Para o presente estudo, foram realizadas análises estáticas no campo linear elástico isotrópico de comportamento dos materiais. Foram modelados cinco prismas, sendo um com os mesmos valores do módulo *young* (*E*) para os blocos e a argamassa, dois com as propriedades maiores para os blocos, e outros dois com valores das propriedades maiores para a argamassa, como mostra a Tab. I.

Santos (2008), através da caracterização de blocos, obteve, por meio de uma média

dos resultados, os valores  $E = 10 \text{ GPa}$  e  $\nu = 0,31$ . As propriedades de argamassas I, II e III são as obtidas por Mohamad (2007) e são apresentadas na Tab. I, com seus respectivos traços. Já as argamassas IV e V foram utiliza-das com a finalidade de simular argamassas com maior resistência à deformação do que os blocos.

**Tabela I** - Propriedades mecânicas do bloco e das argamassas.

<b>Materiais</b>	<b>Módulo de Young E (GPa)</b>	<b>Coefficiente de Poisson (ν)</b>
<b>Bloco</b>	10,00	0,31
<b>Argamassa – N (traço)</b>		
Menos resistente que o bloco		
III (1:1:6)	3,61	0,06
II (1:0,5:4,5)	6,97	0,10
Mesma resistência do bloco		
I (1:0,25:3)	10,00	0,16
Mais resistente que o bloco		
IV	15,00	0,20
V	20,00	0,25

Foi feita uma caracterização das medidas geométricas do bloco selecionado, sendo obtidas as medidas gerais e dos septos de cinco amostras. Estas medidas receberam um tratamento estatístico, obtendo-se assim a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação das dimensões. Uma vez que os valores dos coeficientes de variação revelaram baixa dispersão entre as medidas das cinco amostras caracterizadas, a geometria final do modelo foi construída com as dimensões médias.

A Fig. 1 mostra o prisma, composto pelos dois blocos ligados pela camada de argamas-sa. A mesma foi considerada em toda face de assentamento, ou seja, em todos os septos dos blocos, conforme Fig. 2.

Figura 1 - Vista 3D do prisma.

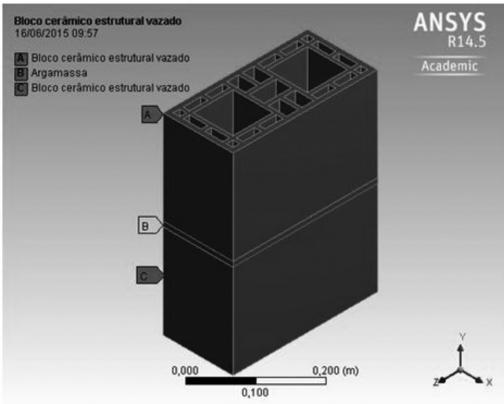
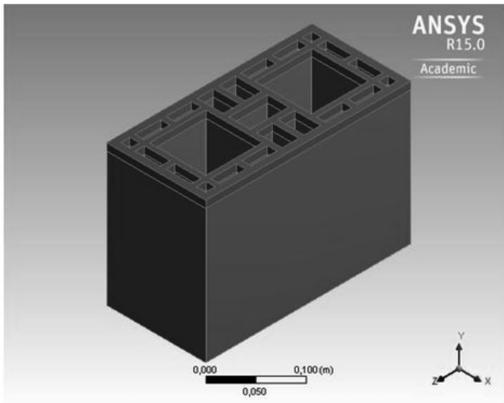
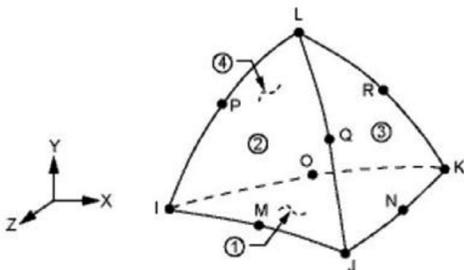


Figura 2 - Consideração da argamassa de assentamento.



O elemento utilizado nas regiões internas dos blocos e da argamassa foi o tetraédrico de 10 nós SOLID187 (Fig.3), por adaptar-se melhor ao modelo, uma vez que os septos caracterizam a quebra da continuidade da geometria.

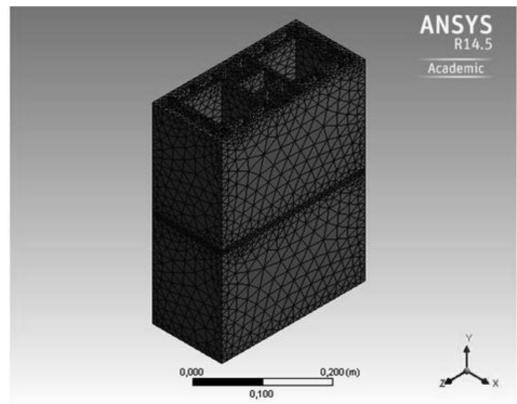
Figura 3 - Elemento SOLID187 (ANSYS, 2015).



Já nas regiões do contato, foram utilizados os elementos CONTA174 e TARGE17, o tipo de contato utilizado entre a argamassa e os blocos foi o *Bonded*, ou seja, o colado, devido à argamassa ser a cola para união dos blocos da alvenaria. O elemento SURF154 foi utilizado nas faces regulares e na face de aplicação da carga.

Foi utilizada a malha tetraédrica, onde a Fig. 4 mostra um modelo discretizado com 94.268 nós e 48.755 elementos.

Figura 4 - Modelo discretizado.



A carga aplicada foi uma pressão de 6 MPa, mesma da resistência do bloco, fornecida pelo fabricante, distribuída na superfície superior do bloco.

Na face superior, onde foi aplicada a carga na direção do eixo Y, foram restringidos os deslocamentos nas direções dos eixos X e Z, enquanto que na face inferior, apoiada, foram restringidos os deslocamentos nas direções dos eixos X, Y e Z. Tais restrições de deslocamentos foram utilizadas para simular as condições de confinamento do ensaio, causadas pelo atrito entre os pratos da prensa e o prisma (RIZZATTI et al., 2011).

A solução e os resultados compreendem os dois últimos passos da simulação. Nessa etapa, é possível analisar o modelo deformado e suas tensões, ocasionadas pela carga aplicada no prisma. Neste trabalho, foi rea-

lizado um mapeamento das tensões nos nós dos cinco modelos, da seguinte forma:

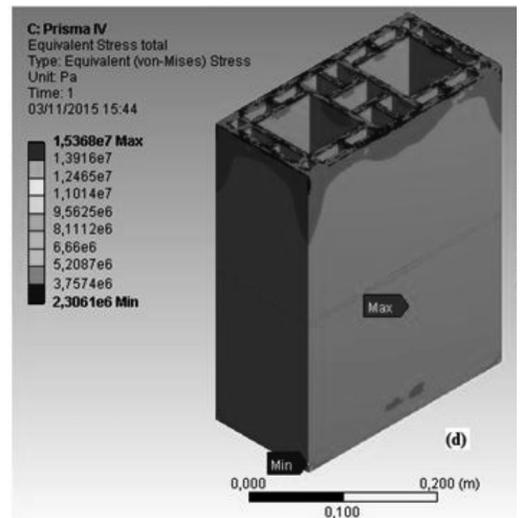
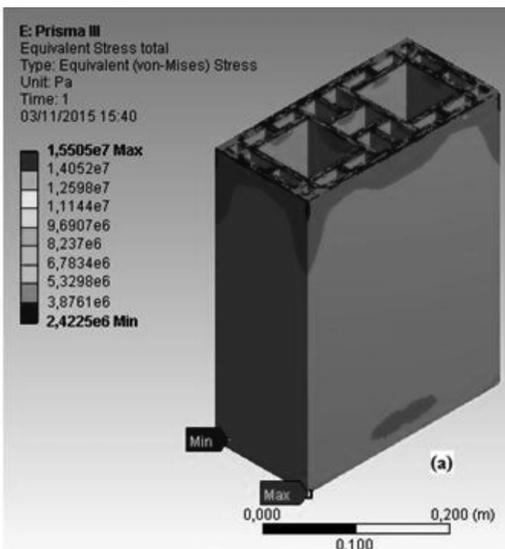
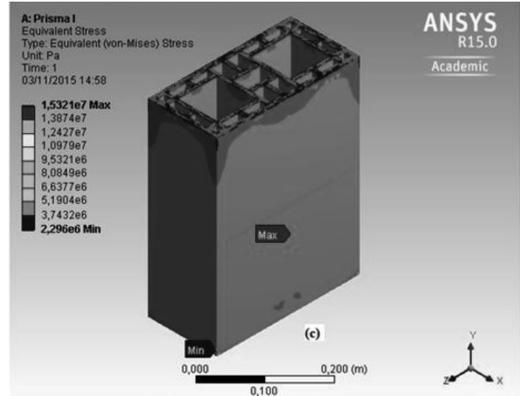
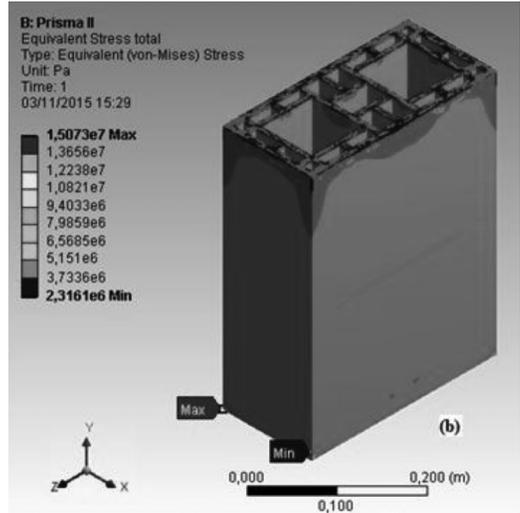
- a) Tensão de von Mises média de todos os nós do prisma;
- b) Tensão de von Mises média de todos os nós do bloco superior isolado;
- c) Tensão de von Mises média de todos os nós da face superior da argamassa;
- d) Tensão de von Mises média de todos os nós da argamassa.

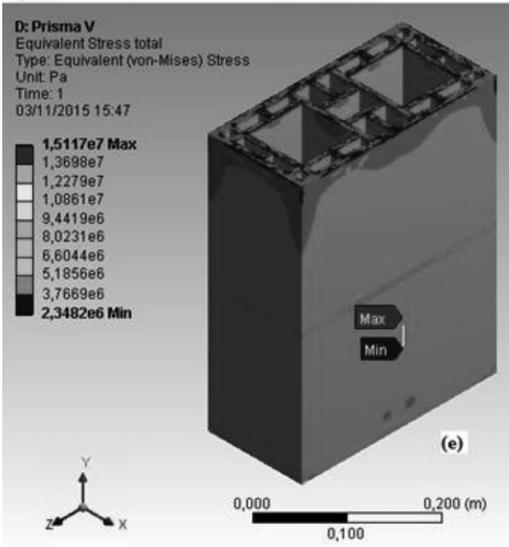
Dessa forma, analisando os quatros mapeamentos citados acima, pode-se verificar a influência local e global da resistência da argamassa na distribuição de tensões no prisma, uma vez que é analisado, em separado, cada componente que o constitui.

## Resultados e Discussões

A Fig. 5 apresenta as distribuições das tensões de von Mises do prisma. Observa-se no prisma III que a maior tensão de von Mises atuante é de 15,50 MPa, enquanto a menor tensão é de 2,42 MPa.

Figura 5 - Distribuição das tensões de von Mises no prisma (a) III, prisma (b) II, prisma (c) I, prisma (d) IV e prisma (e) V.





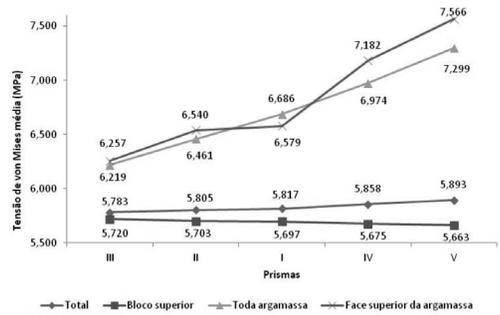
A Tab. II apresenta os valores das tensões médias de von Mises ( $\sigma_v$ ) para as diferentes composições dos prismas simulados em ordem crescente da rigidez da argamassa (prisma III, II, I, IV e V): em todo o prisma, bloco superior isolado, face superior da argamassa e argamassa inteira.

A Fig. 6 ilustra graficamente os dados da Tab. II.

Quando analisadas as tensões de von Mises (Fig. 6), fica mais evidente a influência da argamassa de assentamento nas tensões dos prismas, sendo que as tensões médias na face superior da argamassa e em toda argamassa tiveram um comportamento crescente.

Observa-se que no prisma III, formado pela argamassa de menor resistência, foram obtidas as menores tensões médias em todas

Figura 6 - Tensões de von-Mises médias dos prismas.



as frentes analisadas. Já os prismas IV e V, formados pelas argamassas mais resistentes, tiveram as maiores tensões em relação aos outros. À medida que a rigidez da argamassa aumenta, do modelo III em direção ao modelo V, as tensões em todo o prisma (que simula a parede) permanecem praticamente constantes, reforçando Isaia (2010), ao afirmar que “a resistência da argamassa nunca deve ser superior à resistência dos blocos, pois a mesma exerce pouca influência na resistência à compressão da alvenaria”.

### Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência do traço da argamassa de assentamento no comportamento mecânico de um tipo de bloco cerâmico estrutural vazado, utilizado em sistemas construtivos de alvenaria estrutural, através da aplicação do Método dos Elementos Finitos (MEF), com a utilização do programa ANSYS®. Foram pro-

Tabela II - Tensão de von Mises média ( $\sigma_v$ ) nas composições dos prismas.

Modelo	Prisma (MPa)	Bloco superior (MPa)	Face superior da argamassa (MPa)	Em toda argamassa (MPa)
I	5,817	5,697	6,686	6,579
II	5,805	5,703	6,461	6,540
III	5,783	5,720	6,219	6,257
IV	5,858	5,675	6,974	7,182
V	5,663	5,663	7,299	7,566

postos cinco modelos de prismas, compostos por dois blocos assentados em uma camada de argamassa. Um dos prismas pressupõe a mesma resistência à deformação para a argamassa e para os blocos (Prisma I). Já nos prismas II e III a argamassa tem resistência à deformação menor que os blocos, enquanto nos prismas IV e V, a argamassa tem resistência à deformação maior que os blocos.

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que:

- foi possível confirmar a coerência do comportamento estrutural dos prismas com os postulados teóricos acerca da influência da resistência da argamassa de assentamento no comportamento mecânico da alvenaria, uma vez que Isaia (2010) afirma que a

resistência da argamassa nunca deve ser superior à resistência dos blocos, pois a mesma exerce pouca influência na resistência à compressão da alvenaria. Isso pode ser observado no comportamento praticamente constante dos valores de tensão de von Mises, para todos os modelos, expostos na Fig. 6;

- à medida que a rigidez da argamassa aumenta, crescem as tensões que atuam na mesma. Isso pode ser um indício de que, caso essas tensões atinjam valores elevados, acima do suporte de carga da mesma, possam ocorrer fissuras nestes locais, gerando, assim, manifestações patológicas na região de assentamento dos blocos.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15812-2**: Alvenaria estrutural - Blocos cerâmicos Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2010.

ANSYS. **ANSYS Mechanical APDL 14.5 Help**. Acesso em: 8 abr. 2015.

ISAIA, G. C. **Materiais de construção civil**: princípios de ciência e engenharia de materiais. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2010.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho: Escola de Engenharia, Guimarães, 2007.

MORADABADI, E.; LAEFER, D. F. **Numerical modeling options for cracked masonry buildings**. 9<sup>th</sup> International Masonry Conference, Guimarães, 2014.

RIZZATTI, E.; ROMAN, H. R.; MOHAMAD, G.; NAKANISKI, E. Y. Análise numérica da influência da geometria dos blocos cerâmicos em paredes estruturais. **Engenharia Estudo e Pesquisa**, v. 11, n. 1, p. 27-35, 2011.

SANTOS, M. J. F. **Análise da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica para diferentes tipos de argamassas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.