

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO GRAUTE NA ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS CERÂMICOS POR MEIO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE GROUT IN THE STRUCTURAL MASONRY OF CERAMIC BLOCKS BY FINITE ELEMENT METHOD

Paulo R. Dutra e Gilson F. P. Soares

*Grupo de Estudos e Pesquisas em Materiais e Sistemas, URI Erechim, RS 331, 345, Demoliner,
Erechim, Brasil, paulo_rdutra@outlook.com, gilsonfjps@uricer.edu.br*

Palavras-chave: Alvenaria estrutural, prismas de blocos cerâmicos, Método dos Elementos Finitos.

Resumo. Atualmente, com o crescimento de pesquisas científicas, as estruturas em alvenaria estrutural têm se tornado cada vez mais arrojadas e, conseqüentemente, há a necessidade de aumentar a capacidade resistente do sistema. Assim, o presente trabalho tencionou avaliar numericamente a influência do graute como elemento resistente em prismas de blocos cerâmicos estruturais. Para isso, foram modelados, por meio do Método dos Elementos Finitos, prismas com dois blocos de diferentes classes de resistência, sendo a resistência do graute entre duas e seis vezes a resistência característica à compressão do bloco. A análise dos resultados deu-se em termos das tensões de von Mises, tensões principais e critério de falha de Mohr-Coulomb, com o intuito de compreender a ruptura da alvenaria. O acréscimo na resistência do graute não se mostrou significativo, observando-se uma variação máxima na parcela de tensões por ele absorvida de apenas 11,40%, para o bloco menos resistente, e 8,99% para o bloco mais resistente. Quanto às tensões de tração, localizaram-se predominantemente na região de aplicação da carga, na interface entre graute e bloco superior. No entanto, como na maioria das vezes são utilizadas barras de armadura para absorção dos esforços de tração, esse problema pode ser facilmente contornado, podendo ser utilizado graute com resistência compreendida entre duas e três vezes a resistência do bloco.

Keywords: Structural masonry, ceramic blocks prisms, Finite Element Method.

Abstract. Currently, with the growth of scientific research, the structures in structural masonry has become increasingly bold and, consequently, there is a need to increase the resistant capacity of the system. Thus, the present work intended to evaluate numerically the influence of the grout as resistant element in prisms of structural ceramic blocks. For this, prism with two blocks of different strength classes were modeled using the *Finite Element Method*, with the grout strength between two and six times the characteristic compressive strength of the block. The analysis of results was carried out in terms of von Mises stresses, principal stresses and Mohr-Coulomb failure criteria, in order to understand the rupture of the masonry. The increase in the strength of the grout was not significant, observing a maximum variation in the portion of stresses absorbed by it of only 11.40% for the less resistant block and 8.99% for the more resistant block. Regarding the tensile stresses, they were predominantly located predominantly in the region of the load, at the interface between grout and upper block. However, as in most cases reinforcement bars are used to absorb tensile forces, this problem can be easily solved, and grout can be used with strength between two and three times the strength of the block.

1 INTRODUÇÃO

Basicamente, a alvenaria estrutural pode ser definida pela justaposição de blocos e juntas de argamassa, compondo paredes com função estrutural e de vedação. Caso seja necessário aumentar o desempenho do conjunto, pode-se empregar graute e armadura resistente a tensões de tração. Em ambos os casos, torna-se imperativo um criterioso controle de qualidade dos materiais e processos executivos, uma vez que falhas, por menores que sejam, podem conduzir a manifestações patológicas e, em casos extremos, à ruína estrutural.

Mohamad, Rizatti e Roman (2011) definem o sistema como um material compósito fruto da interação da unidade, argamassa, graute e armadura. Logo, o conhecimento dos componentes e a compatibilização entre suas propriedades torna-se essencial para a otimização do desempenho da alvenaria. Além disso, a compreensão do efeito do grauteamento sobre a alvenaria vai ao encontro da redução de custos e de impactos ambientais.

A princípio, a alvenaria era dimensionada essencialmente de forma empírica, o que resultava em estruturas superdimensionadas, paredes espessas e elevado custo de construção. Somente a partir da segunda metade do século, com a construção dos edifícios de Paul Haller, na Suíça, a alvenaria estrutural começou a recuperar seu prestígio de outrora. O suíço obteve paredes internas com espessura igual a 15 cm e paredes externas com 37,5 cm de espessura, valores não muito distantes daqueles empregados em projetos mais modernos com o mesmo sistema construtivo (Ramalho e Corrêa, 2008).

Diante do crescimento da alvenaria estrutural, a utilização do graute para aumentar a sua capacidade resistente surge como uma alternativa bastante viável. Contudo, o seu comportamento ainda não é compreendido em sua totalidade, principalmente quando são utilizados blocos cerâmicos. Segundo Camacho et al. (2015, p. 2), “a inserção do graute e da armadura aumenta as dúvidas e inibem a utilização desse sistema, pois geram insegurança do meio técnico diante do desconhecimento de seu comportamento estrutural.” Assim, o presente trabalho buscou analisar, por meio do Método dos Elementos Finitos (MEF), a relação entre a resistência do graute e a resistência à compressão de prismas de blocos cerâmicos estruturais de diferentes resistências, de modo a promover a disseminação do conhecimento na área.

2 METODOLOGIA

A metodologia consistiu em uma análise numérica, por meio do Método dos Elementos Finitos, com o objetivo de investigar a influência da resistência do graute no desempenho mecânico de prismas de blocos cerâmicos estruturais de diferentes resistências.

Os fatores controláveis foram a resistência à compressão do bloco cerâmico estrutural e a resistência à compressão do graute. A análise dos resultados deu-se em termos da tensão de von Mises média nos prismas e nos componentes. A fim de melhor avaliar a ruptura da alvenaria, as análises também consideraram as tensões principais máximas, médias e mínimas, além do fator de segurança (*Safety Factor*) para o critério de falha de Mohr-Coulomb.

2.1 Propriedades mecânicas dos materiais

Os blocos cerâmicos possuíam paredes externas maciças e paredes internas vazadas, com diferentes geometrias e resistências, conforme mostra a Figura 1. A resistência à compressão característica da amostra foi determinada em laboratório, a partir de ensaios físicos. Quanto ao módulo de elasticidade e à resistência à tração, foram estabelecidas correlações com trabalhos desenvolvidos anteriormente. Em relação ao coeficiente de Poisson, adotou-se o valor de 0,20, encontrado por Izquierdo (2015).

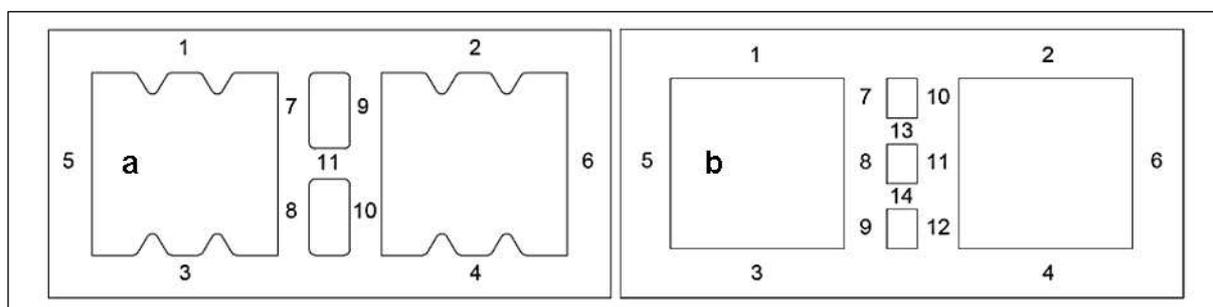


Figura 1. Geometrias dos blocos cerâmicos estruturais utilizados: a) bloco I e b) bloco II.

As propriedades mecânicas da argamassa foram determinadas por meio de ensaios com corpos de provas prismáticos e cilíndricos de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e em consonância com a [NBR 13279 \(ABNT, 2005\)](#) e com a [NBR 8522 \(ABNT, 2017\)](#), respectivamente. Uma vez que não foi possível a obtenção do coeficiente de Poisson, foram utilizados os valores de 0,12 ([Mendes, 1998](#)), para o traço mais resistente, e 0,24 ([Mata, 2006](#)), para o traço com menor resistência.

Posto que não foram realizados ensaios físicos com corpos de prova de graute, a resistência à compressão foi obtida diretamente da resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos, respeitando-se a proporção de duas, três, quatro, cinco e seis vezes esse valor. Os valores de módulo de elasticidade foram aproximados pelas fórmulas da [NBR 6118 \(ABNT, 2014\)](#) em função da resistência à compressão do graute. O mesmo procedimento foi empregado para o cálculo da resistência à tração e coeficiente de Poisson. Em resumo, as propriedades dos materiais são apresentadas na [Tabela 1](#), para o bloco I, e na [Tabela 2](#), para o bloco II.

Material	Módulo de elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
Bloco	3573,96	0,20	8,45	0,51
Argamassa	8500,00	0,12	6,92	2,36
Graute	23261,45	0,15	16,89	1,98
	29203,57	0,15	25,34	2,59
	34546,10	0,15	33,78	3,14
	39545,78	0,15	42,23	3,64
	44197,96	0,15	50,68	4,11

Tabela 1. Propriedades mecânicas dos materiais (bloco I).

Material	Módulo de elasticidade (MPa)	Coefficiente de Poisson	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)
Bloco	3573,96	0,20	8,45	0,51
Argamassa	8500,00	0,12	6,92	2,36
Graute	23261,45	0,15	16,89	1,98
	29203,57	0,15	25,34	2,59
	34546,10	0,15	33,78	3,14
	39545,78	0,15	42,23	3,64
	44197,96	0,15	50,68	4,11

Tabela 2. Propriedades mecânicas dos materiais (bloco II).

2.2 Modelagem computacional no ANSYS® Workbench

O ANSYS® Workbench é um software de análise numérica voltado para a resolução de problemas de engenharia, com base no MEF e nos princípios da tecnologia CAE (Engenharia Assistida por Computador). Por conseguinte, possui aplicabilidade em uma ampla gama de campos de estudo: análise de estruturas estáticas e dinâmicas, transferência de calor, eletromagnetismo, mecânica e dinâmica dos fluidos, entre outros.

A análise estática de uma estrutura no ANSYS® Workbench envolve três etapas principais: pré-processador (*Preprocessor*), solução (*Solution*) e pós-processador (*Postprocessor*). Em um primeiro momento, são definidos a geometria, os materiais, as condições de contorno, os carregamentos e a malha de elementos finitos. Na segunda etapa, são construídas e resolvidas as matrizes que descrevem o comportamento dos elementos. Por fim, as soluções são exibidas em forma de gráficos ou tabelas.

O SOLID 187 (Figura 2) é um elemento tetraédrico formado por 10 nós, com três graus de liberdade cada um, o que permite translações nodais em todas as direções. Apresenta boa compatibilidade com geometrias irregulares, geralmente importadas, como é o caso dos prismas e seus componentes constituintes. O elemento CONTA174, por sua vez, é um elemento de 8 nós utilizado para representar contatos e deslizamentos entre uma superfície alvo e uma superfície deformável, com as mesmas características geométricas do sólido ao qual está conectado. Associam-se ao elemento TARGE170 (Figura 3), definindo os contatos entre os materiais. Este, por sua vez, divide a superfície em um conjunto de elementos, os quais estão conectados aos elementos CONTA174 que sobrepõem o sólido.

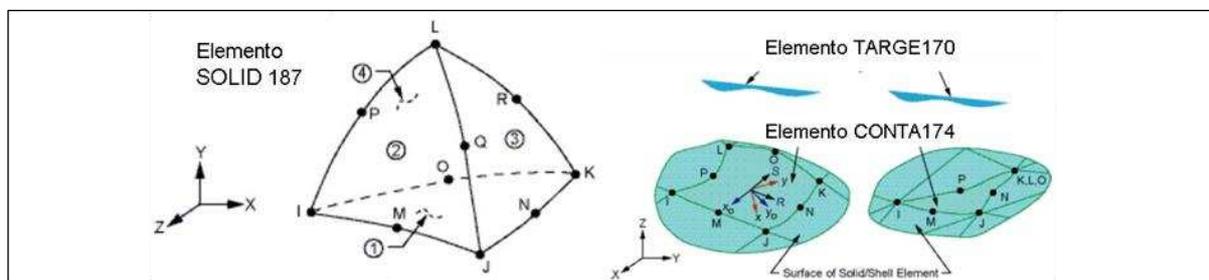


Figura 2. Elementos SOLID187 e CONTA174 (ANSYS, 2019).

O elemento SURF154 encontra-se nas faces dos elementos tridimensionais, definido pelas propriedades do material e por 4 a 8 nós, como mostra a Figura 4. É empregado em aplicações de carga e de efeito de superfície em análises de estruturas.

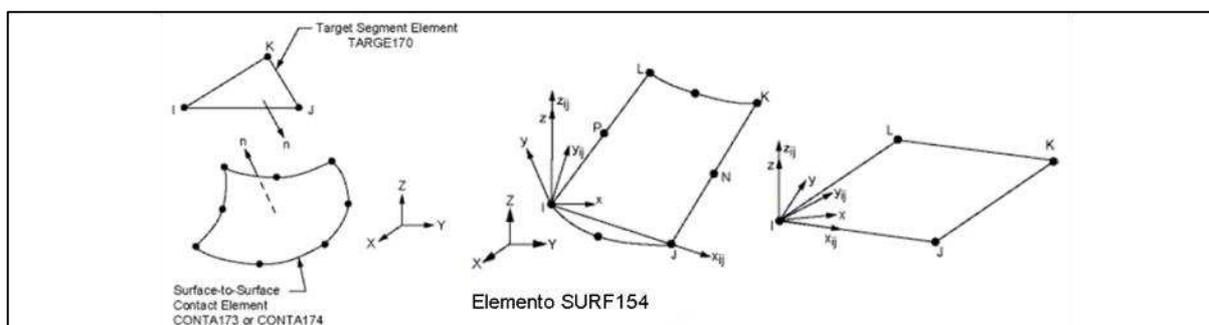


Figura 3. Elementos TARGE170 e SURF154 (ANSYS, 2019).

De modo a simular os efeitos de confinamento provocados pelos pratos da prensa, os deslocamentos foram restringidos nas direções x , y e z (*Displacement A*) na face inferior do

conjunto e nas direções x e z (*Displacement B*), na face superior. O carregamento foi aplicado uniformemente distribuído na face superior do prisma, ao longo da direção y (*Pressure*), com 70% da resistência característica à compressão do bloco, ou seja, 5,91 MPa. Em resumo, as condições de contorno e carregamento aplicado ao prisma são apresentados na [Figura 4](#).

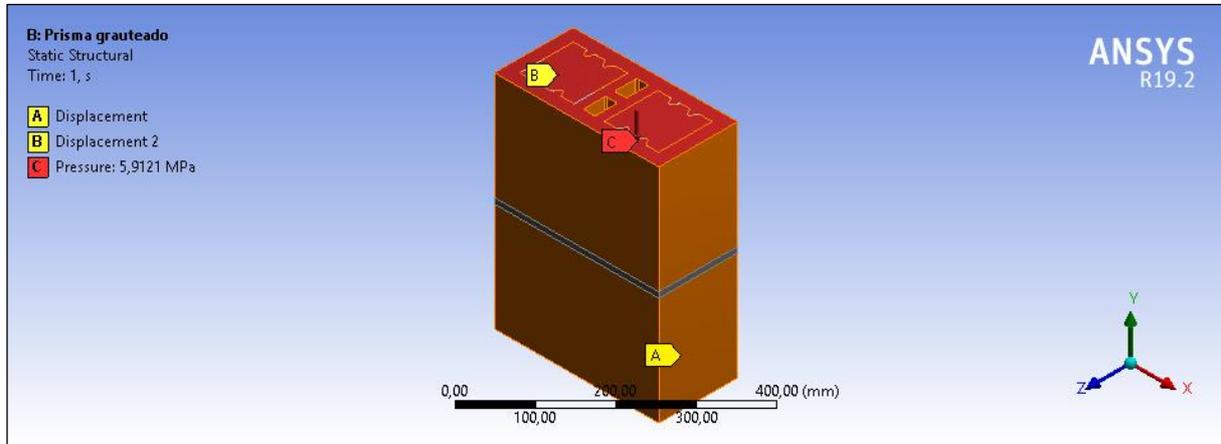


Figura 4. Condições de contorno e carregamento aplicado ao prisma.

2.3 Formulação do Método dos Elementos Finitos

A formulação apresentada na sequência baseia-se nos estudos de [Krishnamoorthy \(1994\)](#), [Castro Sobrinho \(2006\)](#), [Vaz \(2011\)](#), [Alves Filho \(2013\)](#) e [Lee \(2018\)](#).

O estado de tensões atuantes em um elemento diferencial ([Figura 5](#)) pode ser adequadamente descrito em função de seis componentes: três tensões normais e três tensões cisalhantes, as quais podem ser representadas vetorialmente:

$$\sigma = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}]^T \quad (1)$$

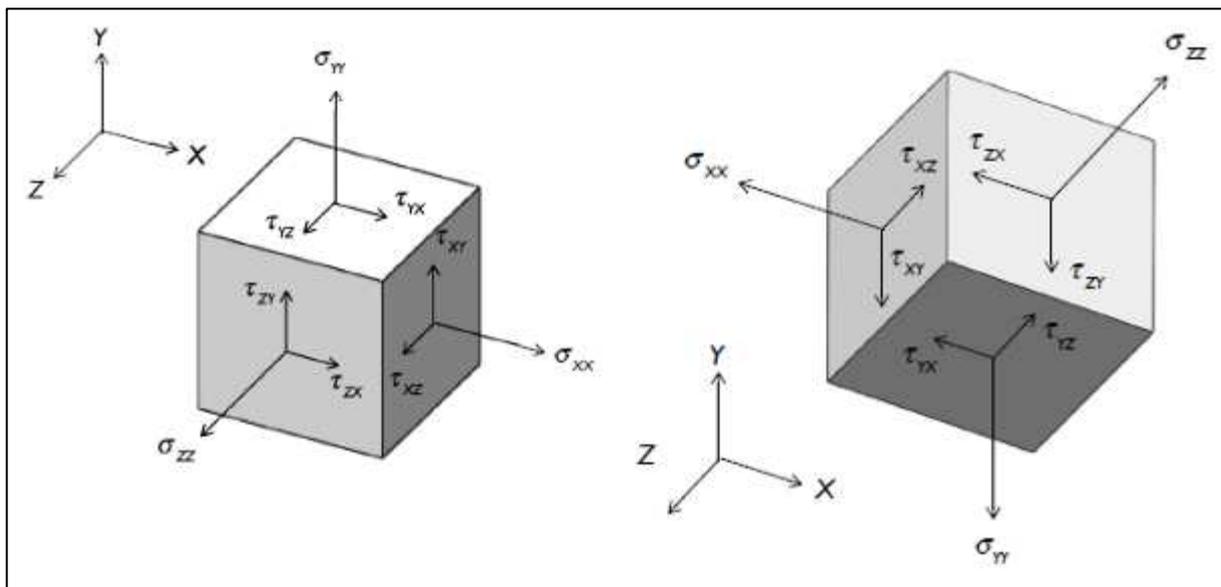


Figura 5. Estado geral de tensões ([Lee, 2018](#)).

O campo de deslocamentos de um corpo sólido pode ser descrito em função de coordenadas em três direções: $u(x, y, z)$, $v(x, y, z)$ e $w(x, y, z)$. Assim, as deformações normais ϵ e cisalhantes

γ associadas podem ser dadas por:

$$\varepsilon = [\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}]^T = \left[\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}, \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right), \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right]^T \quad (2)$$

Para materiais homogêneos, isotrópicos e de comportamento linear-elástico, valem as relações entre tensões e deformações que decorrem da lei de Hooke. Logo, são necessárias somente duas constantes físicas para expressar todas as constantes elásticas: módulo de elasticidade E e coeficiente de Poisson ν . Matricialmente, a matriz de rigidez simétrica e invertível D fica definida por:

$$D = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\nu & \nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\nu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Posto que $\sigma = D \cdot \varepsilon$, as deformações podem ser obtidas por meio da multiplicação entre a matriz inversa de D e o vetor de tensões.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & 1 & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & -\nu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} \quad (4)$$

A matriz de rigidez da estrutura relaciona as cargas com os deslocamentos nodais. Assim, a partir do deslocamento em todos os nós, todas as respostas em termos de deformações em qualquer ponto podem ser calculadas (Vaz, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados englobou a caracterização analítica e experimental dos componentes, o teste de independência de malha e a comparação das tensões de von Mises médias e tensões principais no prisma e nos componentes para as diferentes combinações de resistência bloco-graute, obtidas mediante simulações numéricas no ANSYS® Workbench.

A convergência da malha foi aferida para diferentes números de nós e elementos, com o objetivo de verificar a influência que a quantidade de elementos exerce na tensão de von Mises média. O teste de independência de malha considerou três níveis distintos de refinamento predefinidos e elementos tetraédricos, os quais se adaptam à maioria das geometrias. Uma vez que a diferença de tensões entre o refinamento 2 e o refinamento 3 foi pequena, os modelos foram confeccionados com malha de refinamento médio.

3.1 Tensões de von Mises médias

Quanto às tensões de von Mises, ambos os modelos não grauteados (Figura 6) apresentaram um comportamento semelhante: maior parcela do carregamento absorvido pela argamassa e distribuída de forma aproximadamente igual para os blocos superior e inferior. Por ter maior módulo de elasticidade do que o bloco cerâmico, a junta de argamassa constitui uma zona de maior rigidez no conjunto e, portanto, concentra maiores tensões.

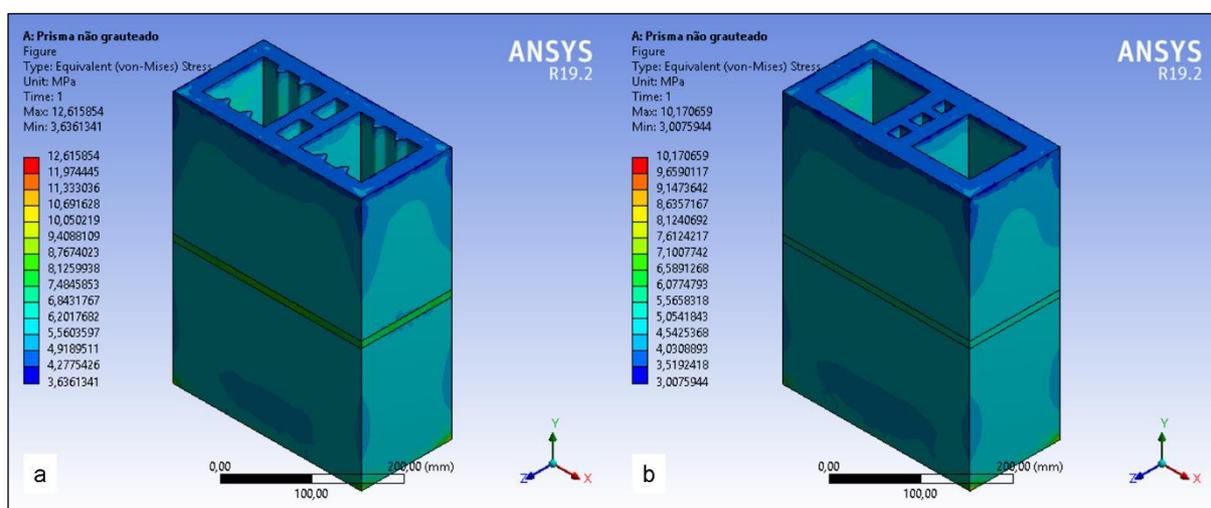


Figura 6. Tensões de von Mises nos prismas não grauteados: a) bloco I e b) bloco II.

Com o aumento da área líquida por meio do grauteamento, as colunas de graute passaram a coordenar a deformabilidade do prisma. Por conseguinte, as deformações diminuíram e houve um enrijecimento e ganho de estabilidade da estrutura de alvenaria. Em comparação com os prismas não grauteados, como mostra a [Figura 7](#), os prismas grauteados mostraram-se sujeitos a menores tensões.

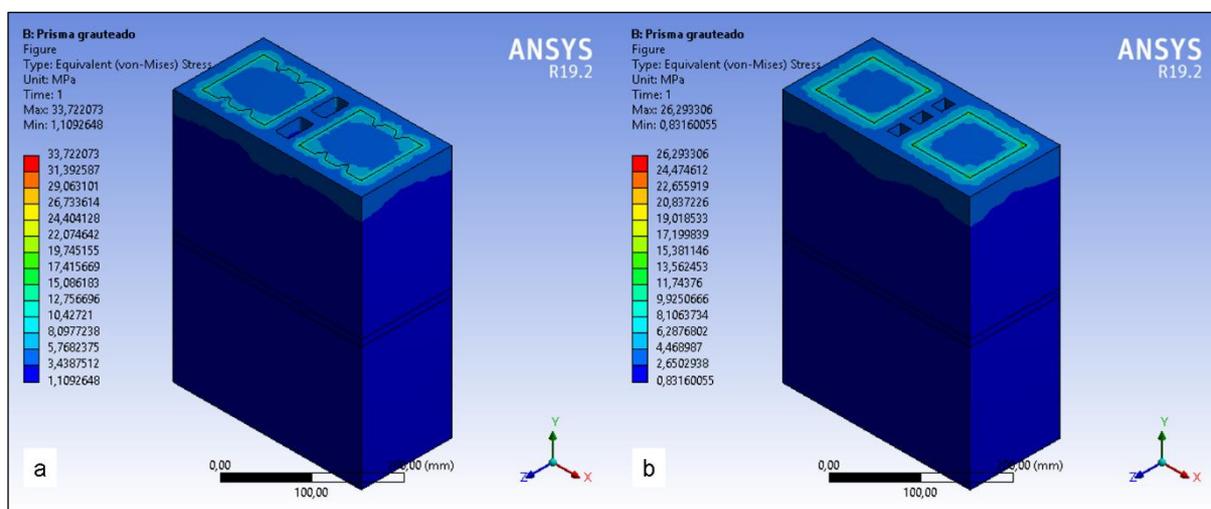


Figura 7. Tensões de von Mises nos prismas grauteados: a) bloco I e b) bloco II.

Quando comparados entre si, os resultados para os dois tipos de bloco mostraram-se bastante semelhantes, o que demonstra que a resistência do bloco não influencia diretamente na resistência à compressão da alvenaria grauteada. Nesse caso, adquire maior importância a compatibilidade entre as resistências de bloco, graute e argamassa de assentamento. Assim, é válida a constatação de [Mohamad, Rizatti e Roman \(2011\)](#), os quais afirmam que a alvenaria é essencialmente um material compósito.

Como pode ser observado na [Tabela 3](#), há uma pequena variação nas tensões no prisma, além de uma acentuada redução nas tensões nos blocos e na argamassa, ao passo que as tensões no graute aumentam de forma lentamente. Isso pode ser um indício do esgotamento de sua capacidade resistente, ou seja, o aumento da resistência à compressão do graute não significa necessariamente maior absorção das tensões atuantes. Como a distribuição de tensões foi bem

semelhante para os dois tipos de bloco, doravante são apresentados apenas os resultados que se referem ao bloco I.

Resistência do graute (MPa)	Prisma (MPa)	Bloco superior (MPa)	Bloco inferior (MPa)	Argamassa (MPa)	Graute esquerdo (MPa)	Graute direito (MPa)
0,00	5,87	5,67	5,78	7,33	-	-
16,89	5,66	2,47	1,66	2,67	10,72	10,72
25,34	5,67	2,28	1,37	2,22	11,11	11,11
33,78	5,68	2,16	1,18	1,93	11,36	11,37
42,23	5,69	2,07	1,05	1,72	11,55	11,55
50,68	5,69	2,01	0,95	1,56	11,68	11,69

Tabela 3. Tensões de von Mises médias no prismas com blocos I.

A variação nas tensões de von Mises nos materiais constituintes do prisma não é proporcional ao aumento na resistência à compressão do graute. Da mesma forma, para um aumento da ordem de 200%, a parcela de tensões atuantes nas colunas grauteadas varia somente 9%, reafirmando possibilidade de estabilização das tensões atuantes no prisma. Os resultados obtidos estão de acordo com [Arantes e Cavalheiro \(2004\)](#) e, especialmente, com [Grohmann \(2016\)](#), que verificou experimentalmente um ganho médio de resistência de 11,5% ao variar ao aumentar a resistência do graute. Assim, a resistência à compressão da alvenaria pode estar diretamente ligada à maior absorção de tensões pelo graute.

3.2 Tensões principais médias

De modo geral, há uma clara mudança no modo de ruptura dos prismas grauteados e não grauteados. Estes rompem devido às elevadas tensões de compressão na argamassa, enquanto aqueles formam um elemento mais coeso, como mostra a [Figura 8](#).

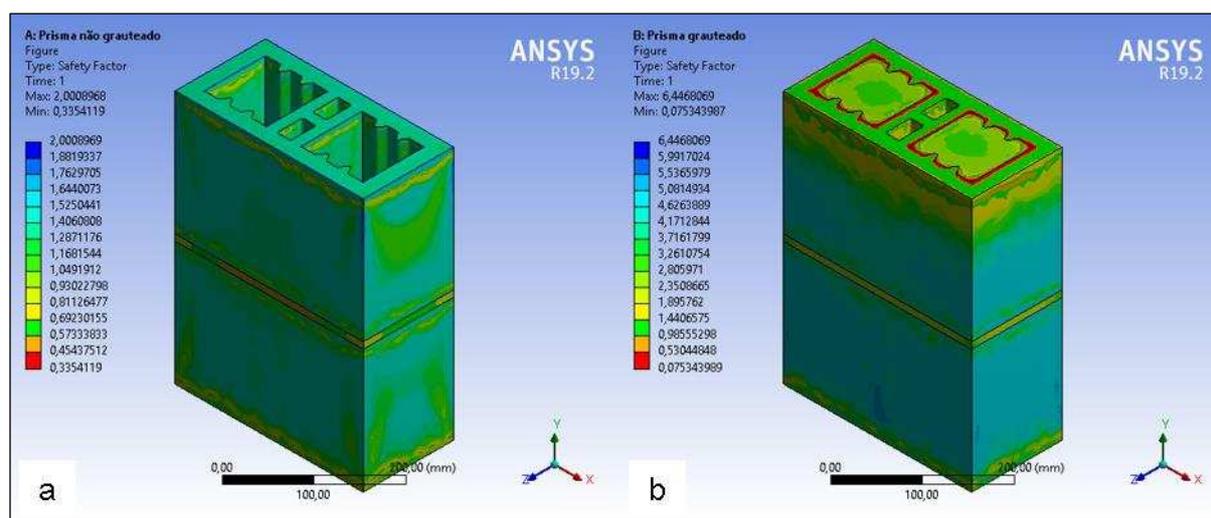


Figura 8. Safety Factor a) prisma não grauteado e b) prisma grauteado.

Como pode ser observado na [Tabela 4](#), que apresenta a possibilidade de elementos falharem devido a esforços de compressão, a utilização de graute de duas a três vezes mais resistente do que o bloco já propicia um desempenho bastante satisfatório. Quando utilizado graute três vezes mais resistente do que o bloco, o prisma fica sujeito a apenas tensões de tração localizadas na

região de contato com o bloco superior (Figura 9).

Resistência do graute (MPa)	Bloco superior (MPa)	Bloco inferior (MPa)	Argamassa (MPa)	Graute esquerdo (MPa)	Graute direito (MPa)
0,00	0,00%	0,23%	9,71%	-	-
16,89	0,43%	0,00%	0,00%	0,18%	0,20%
25,34	0,69%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%
33,78	0,87%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
42,23	1,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
50,68	1,67%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabela 4. Elementos suscetíveis à compressão: bloco I.

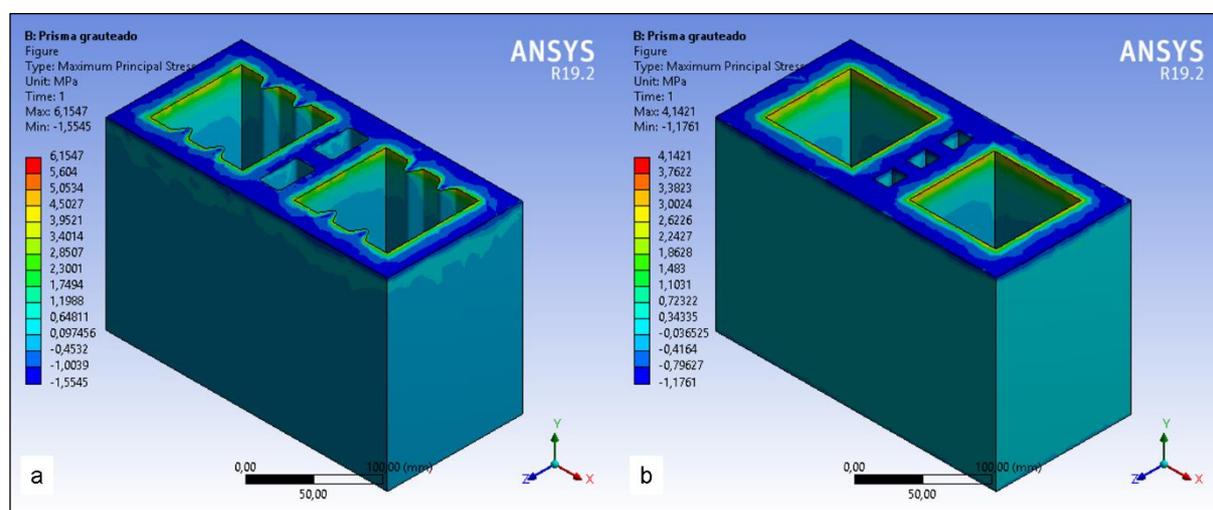


Figura 9. Interface graute-bloco superior: a) bloco I e b) bloco II

Como na maioria das vezes o graute atua solidariamente à armadura, as tensões residuais de tração podem ser reduzidas consideravelmente. Com isso, as tensões de tração e compressão que surgem no bloco superior em decorrência da diferença das propriedades dos materiais também podem ser reduzidas.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, pode-se concluir que a resistência do bloco não é um fator determinante para a resistência da alvenaria grauteada, visto que a evolução das tensões de von Mises se mostrou bastante semelhante para os dois blocos. Além disso, o grauteamento proporciona uma redução significativa das tensões atuantes no prisma, alterando o seu modo de ruptura de esmagamento da junta de argamassa para ruptura por tração no bloco superior, como pôde ser verificado nos ensaios experimentais;

Do ponto de vista técnico, a resistência do graute deve estar compreendida no intervalo entre duas e três vezes a resistência característica do bloco. Desse modo, garante-se a integridade daquele em relação a solicitações de compressão. O acréscimo da resistência do graute a níveis superiores a estes não altera o modo de ruptura do prisma, apenas onera a construção, devido ao aumento de custos para a promoção de maior resistência

REFERÊNCIAS

- Alves Filho, A., *Elementos finitos: a base da tecnologia CAE*. Érica, 2013.
- ANSYS, *ANSYS Mechanical APDL 19.2 Help*. Acesso em: 18 maio 2019.
- Arantes, C.A., e Cavalheiro, O.P. Influência do graute na alvenaria estrutural de blocos vazados cerâmicos. *Anais da 31ª Jornada Sud-Americanas de Ingeniería Estructural*. Universidad Nacional de Cuyo, 1:1-10, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2014.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão*. Rio de Janeiro, 2017.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão*. Rio de Janeiro, 2005.
- Camacho, J.S.; Logullo, B.G.; Parsekian, G.A.; Soudais, P.R.N., Influência do graute e da taxa de armadura no comportamento à compressão da alvenaria de blocos de concreto. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*. 8:341-364, 2015.
- Castro Sobrinho, A.S., *Introdução ao método de elementos finitos*. Ciência Moderna, 2006.
- Cook, R.D., *Concepts and applications of finite elements analysis*. John Wiley & Sons, 2002.
- Grohmann, L.Z., *Análise do comportamento de prismas grauteados de alvenaria estrutural cerâmica*. Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- Izquierdo, O.S., *Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural*. Universidade de São Paulo, 2015.
- Krishnamoorthy, C.S., *Finite element analysis: theory and programming*. Tata McGraw-Hill, 1994.
- Lee, H., *Finite element simulations with ANSYS Workbench 18*. SDC Publications, 2018.
- Mata, R.C., *Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini-paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.
- Mendes, R.J.K., *Resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos estruturais*. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.
- Mohamad, G., Rizzatti, E., e Roman, H.R, Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais. *Ambiente Construído*, 11: 7–22, 2011.
- Ramalho, M., e Corrêa, M.R.S., *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. Pini, 2008.
- Vaz, L.E., *Método dos elementos finitos em análise de estruturas*. Elsevier Brasil, 2011.