

Valber Domingos Pinheiro

Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF
Campos dos Goytacazes

Jonas Alexandre

Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF
Campos dos Goytacazes

Juliana Corrêa Trindade

Instituto Federal do Espírito Santo – IFES
Nova Venécia

Thuany Espírito Santo de Lima

Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF
Campos dos Goytacazes

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo comparar e avaliar prismas grauteados com dois diferentes concretos direcionados ao preenchimento dos blocos utilizados na alvenaria estrutural. Para análise da resistência foram construídos prismas de duas fiadas, contendo em sua formação o mesmo tipo de bloco e argamassa, alternando apenas o graute de seu preenchimento. Os grautes utilizados foram do tipo convencional e leve. Para análise também foram confeccionados prismas não grauteados utilizados como referência. As dosagens utilizadas para os grautes de preenchimento foram confeccionadas de modo convencionalmente utilizado nos canteiros de obra, com cimento, areia, cal e brita e outro com a adição de um aditivo incorporador de ar e argila expandida. Para análise os três modelos de prismas confeccionados foram submetidos a ensaios de resistência à compressão instrumentados nas direções necessárias para aferir os deslocamentos. Os resultados mostram um aumento significativo na resistência dos prismas grauteados em relação ao sem preenchimento, contudo foram registrados diferentes modos de ruptura nos modelos estudados. Após as análises foi possível aferir que a deslocabilidade dos prismas é distinta, com comportamentos diferentes em cada direção.

Palavras-chave: prisma, grauteamento, resistência à compressão, deslocabilidade, alvenaria estrutural.

INTRODUÇÃO

A busca do setor da construção civil por novas tecnologias e métodos construtivos que possibilitem uma baixa considerável no preço final de uma obra e incentivem um novo alavancamento desse setor é notória nas últimas

décadas. Uma das alternativas do setor para alcançar sucesso nesta empreitada é a procura por materiais de preço ponderável, fácil aplicabilidade e mão de obra eficaz.

Dentre os diversos sistemas construtivos empregados na construção civil a alvenaria é considerada uma das principais, mais utilizadas e mais antigas formas de construção. Desde a Antiguidade é observada a utilização dessas estruturas com funcionalidade autoportante e de vedação como estruturação de construções. Por determinado tempo sua utilização foi reduzida em função do surgimento das estruturas metálicas de aço e de concreto armado e em virtude de suas limitações, como comportamento à tração e limitações arquitetônicas.

A concepção desses elementos era baseada no conhecimento empírico e intuitivo, fabricados de forma artesanal com grandes dimensões e pouca tecnologia. Habitações, templos e catedrais são os tipos de construções mais observados nesse período. Posteriormente, a utilização desse tipo de sistema construtivo teve maior progresso devido ao processo de evolução das alvenarias, que foram deixando de ser pesadas, espessas e rígidas como na antiguidade, vindo a ser mais delgadas, com processos de produção tecnológicos e industrializados (OLIVEIRA E HANAI, 1998).

A alvenaria estrutural é um sistema que utiliza paredes construídas com blocos, sendo eles de cerâmica ou de concreto, como autoportantes, estruturais e não apenas como elementos de vedação. É feita por meio da superposição dos blocos unidos com uma camada fina de argamassa para junção desse componente, sendo assim, um método consideravelmente eficiente por sua rapidez, já que não apresenta vigas ou pilares.

Entretanto, as novas aplicações na alvenaria estrutural ainda não imprimem significativa abrangência no mercado, visto que seu desenvolvimento, tanto de normas, modelos matemáticos e análise do comportamento das unidades, não acompanharam o ritmo de materiais como concreto e aço, em que sua aplicação, estudo e usabilidade são maiores. Dessa forma, uma compreensão mais racional sobre o comportamento estrutural deste material se faz necessária para que seu uso e difusão no mercado ocorra de forma mais abrangente, viável e segura.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo a análise das alterações no comportamento mecânico de prismas de alvenaria estrutural construídos com blocos de concreto vazados grauteadas com concreto leve e com concreto convencional. Os espécimes foram avaliados em termos de resistência à compressão, modo de ruptura e deslocabilidade.

MATERIAIS E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para atingir os resultados a pesquisa foi dividida em etapas. Foram feitas as caracterizações dos materiais bem como a dos blocos e argamassa de assentamento utilizada na união dos blocos. Os blocos utilizados na pesquisa foram de concreto, vazados e do tipo inteiro. Suas respectivas dimensões, comprimento x espessura x altura, são, respectivamente, 14 cm

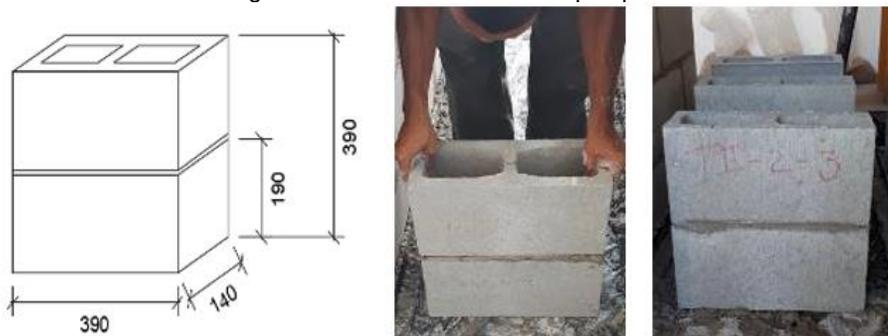
x 19 cm x 39 cm. As características de dimensões reais do bloco, absorção de água, teor de umidade e resistência à compressão foram determinados, em consonância a ABNT NBR 12118 (2013) e ABNT NBR NM 23 (2000). Os ensaios de resistência à compressão dos blocos utilizados foram realizados uma prensa hidráulica MTS com capacidade de 500 kN em cada atuador.

Na produção da argamassa foi utilizado cimento Portland CII E-40, cal hidratada CH-III e areia natural de rio. A argamassa foi dosada conforme o traço em massa de 1:0,5:4,5 (cimento: cal: areia). O preparo da argamassa foi realizado em equipamento aquequado e posteriormente ao seu preparo foi determinado o índice de consistência da argamassa, de acordo com ABNT NBR 11579 (2012), mantendo o espalhamento da argamassa na faixa de (260 ± 10) mm. Para caracterização mecânica da argamassa foram moldados seis corpos de prova de $(40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm})$. A cura dos corpos de prova para execução dos ensaios de resistência à flexão e à compressão foi de 28 dias realizados conforme prescreve a ABNT NBR 7215 (1996).

Também foram confeccionados os grautes do tipo convencional, contendo cimento, areia, cal e brita e o concreto de preenchimento do tipo leve, com os elementos cimento, cal, areia, argila expandida e incorporador de ar em sua composição.

O comportamento da alvenaria estrutural foi avaliado através de ensaios de resistência a compressão em prismas, constituídos de blocos inteiros de concreto de duas fiadas confeccionados de acordo com TMS MSJC (2013). Foram confeccionados 3 prismas para cada modelo, sendo 3 prismas sem graute, 3 com graute convencional e 3 com graute leve. As etapas de produção dos prismas estão mostradas na Figura 1. A espessura da junta de argamassa foi de (10 ± 3) mm. Todos os prismas foram mantidos imóveis até a idade de 28 dias, protegidos do sol e do vento.

Figura 1 – Prismas utilizados na pesquisa.

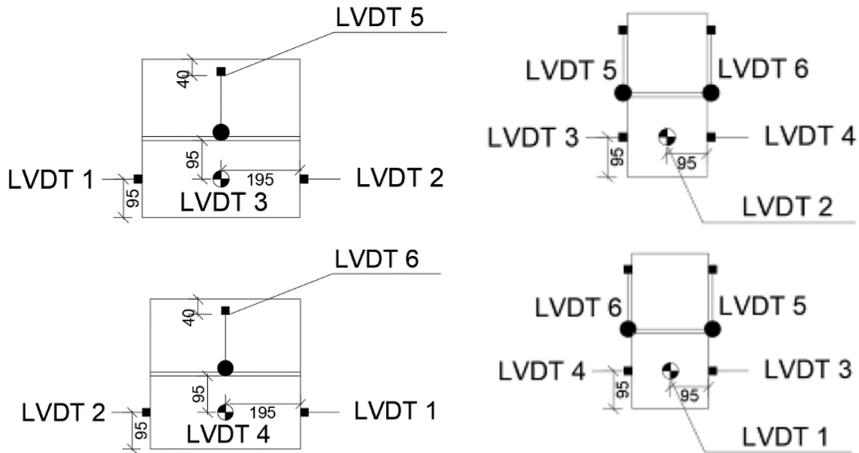


Fonte: Autores (2022).

As resistências à compressão dos prismas foram determinadas após 28 dias de cura. A carga de compressão foi aplicada a uma taxa de 0,1 MPa/s. Foram utilizados seis transdutores lineares para aferir o deslocamento com 50 mm de capacidade nominal, fixados ao prisma para medição do deslocamento, nas direções vertical, lateral e perpendicular (horizontal) ao

plano do prisma (Figuras 2 e 3). Os deslocamentos e a carga aplicada foram obtidos a uma taxa de 2 Hz através do dispositivo de aquisição de dados Metrolog SIAD. A Figura 4 mostra a execução do ensaio de resistência à compressão dos prismas, com o posicionamento e nivelamento dos espécimes, a aplicação da carga e o modo de ruptura.

Figura 2 – Esquema de instrumentação dos prismas.



Fonte: Autores (2022).

Figura 3 – Prismas instrumentados.



Fonte: Autores (2022).

Figura 4 - Ensaio em Prismas.



Fonte: Autores (2022).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios dos blocos de concreto. A resistência à compressão característica dos blocos foi calculada e todos os blocos apresentaram as dimensões adequadas para utilização, sendo a largura de $140 \pm 1,0$ mm, altura de $190 \pm 1,0$ mm e comprimento de $390 \pm 1,0$ mm, atendendo as recomendações da ANBT NBR 6136 (2016). As espessuras das paredes transversal e longitudinal dos blocos foram de 25 mm e 26 mm, respectivamente, enquanto a relação entre a área líquida e a área bruta (α) foi de 0,55. Nos ensaios também foram aferidas as especificações de absorção sendo menor que 8%, e de umidade (25 ± 15 %), de acordo com o predeterminado.

Tabela 1 - Propriedades dos blocos de concreto.

| Bloco | Absorção (%) | Umidade (%) | f_{bk}^a (MPa) | f_{bk}^b (MPa) |
|--------------|--------------|-------------|------------------|------------------|
| 14 x 19 x 39 | 6,3 | 12,3 | 6,01 | 12,77 |

f_{bk}^a considerando área bruta.

f_{bk}^b considerando área líquida.

Fonte: Autores (2022).

As características referentes a argamassa utilizada na confecção dos prismas estão listadas na Tabela 2, utilizado o mesmo traço e a mesma relação água/cimento para todas as séries de prismas, na tabela são apresentados os resultados de consistência, densidade, resistência à tração

e à compressão, módulo de elasticidade e sua classificação de acordo com ASTM C109M (2016), ANBT NBR 9290 (1996) e ASTM C1506 (2017).

Tabela 2 - Propriedades da argamassa.

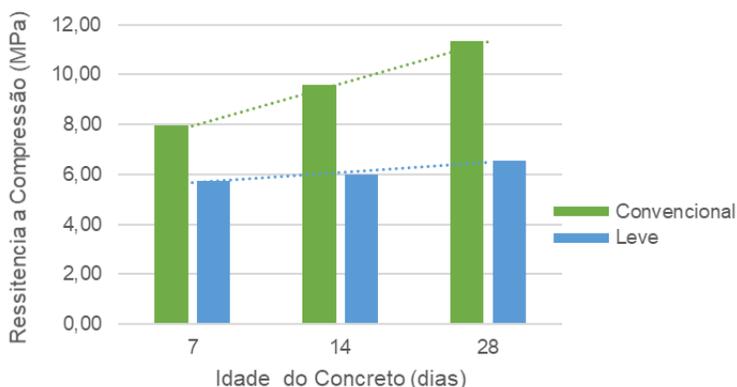
| Ensaio | Resultados | Desvio Padrão | CV* (%) |
|--------------------------------|------------------------|---------------|---------|
| Consistência | 260±10 mm | - | - |
| Densidade no estado fresco | 2006 kg/m ³ | - | - |
| Retenção de água | 97% | - | - |
| Resistência à tração na flexão | 2,6 MPa | 0,27 MPa | 16,53 |
| Resistência à compressão | 7,23 MPa | 0,44 MPa | 3,85 |
| Módulo de elasticidade | 6324,69 | - | - |
| Classificação | P5 R3 D5 U5 | - | - |

*Coeficiente de variação

Fonte: Autores (2022).

Na Figura 5 são apresentadas as resistências à compressão dos concretos utilizados no grauteamento dos modelos que detêm preenchimento entre-séptos bem como a comparação do desenvolvimento ao longo das idades.

Figura 5 – Resistência à compressão dos grautes.



Fonte: Autores (2022).

Na Tabela 3 são apresentadas as resistências de cada um dos prismas bem como as resistências médias de cada um dos modelos

juntamente a seu desvio padrão e coeficiente de variância. Nela pode-se aferir o ganho de resistência no elemento de estudo, prisma, quando é colocado preenchimento, no caso grauteado. O modelo preenchido com concreto convencional apresenta maiores resistências em relações aos demais e aumenta a resistência, em comparação ao sem graute vertical, em mais de 30%.

Tabela 3 - Resistência a compressão dos prismas

| Padrão | Resistência à compressão (MPa) | | | Média (MPa) | Desvio Padrão (MPa) | CV* (%) |
|---------------------------|--------------------------------|------|----------|-------------|---------------------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| Sem GRAUTE (PSG) | 2,9 3 | 3,01 | 2,6 9 | 2,87 | 0,14 | 0,05 |
| GRAUTE convencional (PGC) | 5,9 1 | 5,09 | 5,0 7 | 5,36 | 0,39 | 0,07 |
| GRAUTE leve (PGL) | 4,6 3 | 4,38 | 4,9 8 | 4,66 | 0,25 | 0,05 |

*Coeficiente de variação

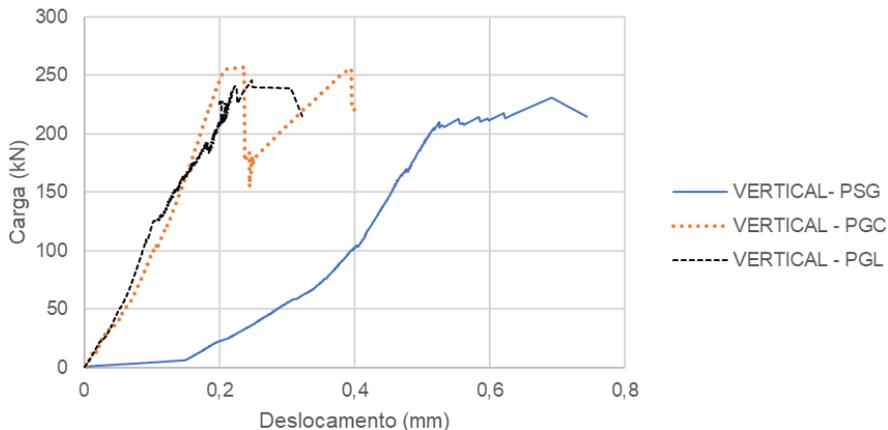
Fonte: Autores (2022).

Através das curvas carga *versus* deslocamento das séries de prismas, Figuras 6, 7 e 8, nas direções vertical, horizontal e lateral, respectivamente, pode-se perceber além da diferença de carga, a diferença de deslocamento em cada modelo. Na Figura 6 são dispostos os deslocamentos em relação a carga suportada pelos modelos de prismas. Fica claro na análise que o modelo de prismas não grauteado (PSG) apresenta maior deslocamento nessa direção bem como menor carga máxima se comparado aos demais tipos. No gráfico também é evidenciado a perda e o posterior ganho de resistência do modelo grauteado com concreto convencional. Isso se dá pela ruptura particionada do elemento, onde rompe-se a argamassa, o bloco e por último o concreto de preenchimento. Os prismas grauteados com concreto leve (PGL) obtiveram resistências medianas comparado aos outros dois modelos e o menor deslocamento.

Na direção horizontal, sendo o modelo PGC o que obteve maior carga de ruptura, a deslocabilidade do modelo com graute convencional é a maior. Sua ruptura ocorre e posteriormente há um decréscimo na carga visto o esmagamento do elemento. Nesta direção o comportamento dos modelos PSG e PGL são semelhantes, com deslocamento similar para diferentes estágios de carregamento.

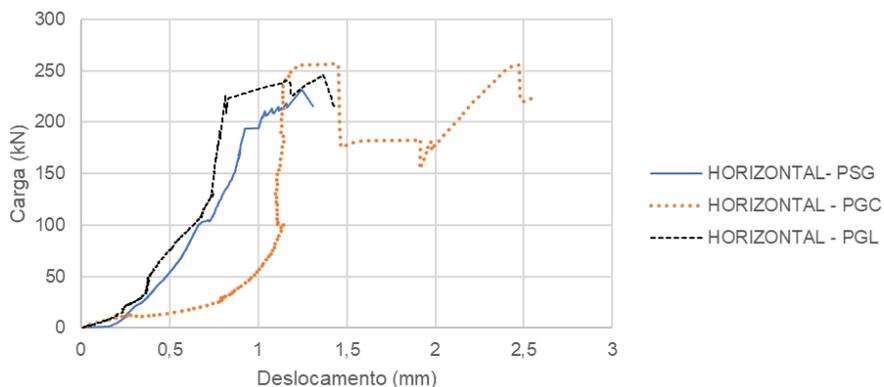
Observando a Figura 8 percebe-se que, também nesta direção, o modelo PGC apresenta maior deslocamento em relação aos demais, isso se justifica pela sua carga de ruptura elevada. Na análise apresentada pelo gráfico nesta direção é possível concluir que os deslocamentos do modelo PGL são os menores obtidos.

Figura 6 – Deslocamentos na direção vertical.



Fonte: Autores (2022).

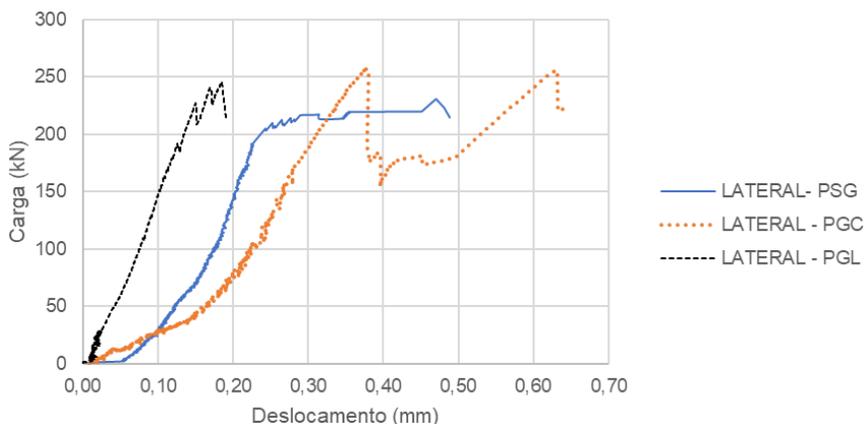
Figura 7 – Deslocamentos na direção horizontal.



Fonte: Autores (2022).

O modo de ruptura da alvenaria normalmente é atribuído a dois motivos, tração no bloco ou esmagamento da argamassa. Os mecanismos de ruptura apresentados por Cheema e Klingner (1986) são mais detalhados em relação a ruptura desses elementos. Os modos de ruptura que podem ser apresentados são fendilhamento lateral do bloco, esmagamento da argamassa, esmagamento do bloco, fendilhamento da argamassa, esmagamento do graute, fendilhamento lateral do bloco: ruptura por tração no bloco, fissuração dos septos transversais: ruptura por flexão dos septos e combinação das rupturas anteriores: que é a ruptura mais comum apresentada.

Figura 8 – Deslocamentos na direção lateral.



Fonte: Autores (2022).

Khalaf (1996) e Mohamad *et al.* (2007) analisaram o modo de ruptura em prismas de blocos de concreto não grauteados e encontraram separação entre todas as faces da unidade de alvenaria. A argamassa tende a se expandir lateralmente mais do que o bloco quando o prisma é submetido à carga compressiva axial. Em função da aderência na interface bloco/argamassa as tensões laterais diferenciais são impedidas e paralisadas entre os componentes, causando apenas as tensões laterais de tração nos blocos e tensões laterais de compressão na junta de argamassa.

Em geral a argamassa é mais deformável do que os blocos, o modo de ruptura dos prismas sob compressão é caracterizado por esmagamento localizado da argamassa (SANTOS *et. al.*, 2017). Nas Figuras 9,10 e 11, são apresentadas as diferenças na ruptura dos modelos de prismas sem graute, com graute de concreto convencional e leve, respectivamente.

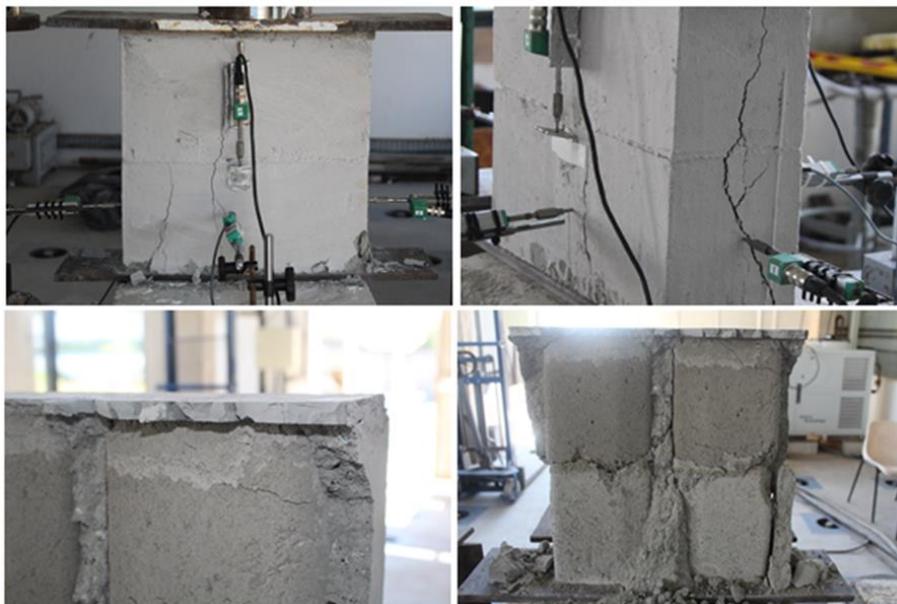
Como visto nas Figura 9 os prismas não grauteados apresentaram ruptura por separação transversal do bloco devido às tensões laterais de tração no bloco, perceptível pelas fissuras apresentadas nas laterais do bloco, entretanto também apresentaram fissura vertical paralela ao carregamento na face frontal e ruptura da argamassa, rompendo assim juntamente o bloco. Santos *et. al.* (2017) e Martins *et. al.* (2018) obtiveram um modo de ruptura similar em seus ensaios.

Figura 9 – Modo de ruptura dos prismas sem grauteamento.



Fonte: Autores (2022).

Figura 10 – Modo de ruptura dos prismas com graute de concreto convencional.



Fonte: Autores (2022).

Figura 11 – Modo de ruptura dos prismas com graute de concreto leve.



Fonte: Autores (2022).

Nas Figuras 10 e 11 verifica-se, respectivamente, o modo de ruptura dos prismas grauteados com concreto leve e convencional. Nesse caso a ruptura dos prismas aconteceu de modos bem distintos. O prisma preenchido com concreto convencional teve o deslocamento do bloco e do graute, separando assim os componentes. Neste caso a ruptura ocorrida foi nos blocos de concreto, permanecendo por fim apenas o concreto. No prisma leve, a estrutura se rompe por completo, havendo assim esmagamento do bloco e do graute após fendilhamentos e trincas.

Izquierdo (2015) evidenciou que quando a utilização do graute é feita quanto maior sua resistência característica maior é a aderência do bloco com concreto quando se trata de alvenaria estrutural armada. Já Martins *et al.* (2018) destacou que a utilização do graute de maneira vertical é diretamente ligada com a resistência do prisma. Quanto maior a resistência à compressão dos grautes de preenchimento maior a resistência do prisma, evidenciado também pelo presente trabalho.

De acordo com Izquierdo (2015), o graute com maior resistência tende a apresentar maior aderência do conjunto bloco/concreto. Isso não ocorre no presente trabalho e esse comportamento justifica-se pela diferença de resistência de cada um dos elementos. Sendo o graute muito mais resistente que o bloco o sistema não trabalha de maneira monolítica e rompe-se em partes.

Nos prismas grauteados com concreto leve, todos seus componentes têm resistências próximas e o comportamento observado indica maior interação e unicidade nos elementos. Ao analisar as curvas apresentadas,

percebe-se que os comportamentos dos modelos não se distinguem apenas em relação as cargas máximas de cada modelo, sendo os deslocamentos e os modelos de ruptura também diferentes em todos os casos.

CONCLUSÕES

Neste trabalho pôde ser observado que o tipo de grauteamento utilizado no preenchimento vertical da alvenaria estrutural influencia diretamente não apenas na resistência a compressão, mas também em sua deformabilidade e modo de ruptura. Na ruptura dos prismas grauteados houve uma pequena diferença entre as resistências à compressão quando se comparado com os prismas sem preenchimento de concreto. No entanto, o modo de ruptura de cada um dos modelos mostrou consideráveis diferenças visto que os prismas sem graute apresentaram uma ruptura inicial apenas no bloco, onde as trincas evoluíram e romperam a argamassa de assentamento, causando assim a ruptura do espécime. Os deslocamentos aferidos nesse modelo foram os de maiores escalas. Nos prismas grauteados com concreto convencional a ruptura aconteceu com o inicial deslocamento do concreto do preenchimento com o bloco causando instabilidade para prosseguir o ensaio, levando assim a ruptura do elemento. Esse modelo apresentou maior resistência à compressão, porém seus deslocamentos foram intermediários. Nos prismas grauteados com concreto leve, a ruptura aconteceu de forma unitária, de uma só vez. O modelo inicialmente apresentou fissuras, rompendo assim o bloco e tendo por fim deslocamento do concreto de preenchimento com o bloco. Nesse deslocamento foi possível analisar que a ruptura desse modelo foi por esmagamento do bloco, argamassa e do graute. Os deslocamentos observados nesse modelo foram inferiores quando se comparado ao modelo convencional. Esse comportamento se justifica pois, todos os componentes desse modelo apresentam características semelhantes e suas resistências foram análogas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C109M: **Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars**, West Conshohocken, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C1506: **Standard test method for water retention of hydraulic cement-based mortars and plasters**, West Conshohocken, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 11579: **Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 μm** , Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 12118: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6136: **Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos**, Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 7215: **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9290: **Cal hidratada para argamassas- Determinação de retenção de água**, Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR NM 23: **Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**, 2000.

CHEEMA, T.S.; KLINGNER, R. E. **Compressive strength of concrete masonry prism**, Am. Concr. Inst. ACI J. 83, 1986.

IZQUIERDO, O. S. **Estudo da interface bloco/graute em elementos de alvenaria estrutural**. Tese de doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

KHALAF, F.M. **Factors influencing compressive strength of concrete masonry prism**, Mag. Concr. Res., 1996.

MARTINS, R.O.G.; NALON, G.H.; ALVARENGA, R.C.S.S.; PEDROTI, L.G.; RIBEIRO, J.C.L. **Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms**, Constr. Build. Mater. 182, 2018.

MASONRY STANDARD JOINT COMMITTEE'S, TMS MSJC – 2013: **Building Code Requirements and Specification for Masonry Structures**, 2013.

MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H.R. **Mechanics of hollow concrete block masonry prism under compression: Review and projects**, Cement and Concrete Composites, 2007.

OLIVEIRA, F. L., HANAI, J. B. **Recuperação de paredes de blocos de concreto com revestimentos resistentes**. Buenos Aires: AIE, 1998.

SANTOS, C.F.R.; ALVARENGA, R.C.S.S.; RIBEIRO, J.C.L.; CASTRO, L.O.; SILVA, R.M.; SANTOS, A.A.R.; NALON, G.H. **Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method**, IBRACON Struct. Mater. J. 10 (2017).