

Estudo do graute de baixa resistência e baixa densidade em alvenaria estrutural não armada.

(Study of low-strength and low-density grout in non-armed structural masonry.)

V. D. Pinheiro¹; J. Alexandre¹; A. R. G. Azevedo¹; T. E. S. Lima¹; A. A. Siqueira¹; A. L. C. Paes¹; L. C. G. Botelho¹; E. B. Albuquerque¹; G. B. Guarçoni¹; T. P. Miguel¹

¹Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

Avenida Alberto Lamago, nº 2000, Parque California, Campos dos Goytacazes - RJ

valber.pinheiro@hotmail.com; jonasuenf@gmail.com; afonso.garcez91@gmail.com; thuanyli.ma.es@gmail.com; arenariandrea@gmail.com; analuzacpaes@hotmail.com; larissa.granato@gmail.com; esterborgesdealbuquerque@gmail.com; giovannibruzzi@hotmail.com; thaispirovanem@gmail.com

Resumo

Visto a crescente demanda do setor construtivo no Brasil e a grande necessidade da aplicação de novas tecnologias e de inovadores materiais no âmbito da construção civil, seja para sanar deficiências ou diminuir custos, se faz necessário o estudo desses elementos. O presente trabalho apresenta um estudo comparativo entre o concreto convencionalmente utilizado como graute e um concreto de baixa resistência e densidade. Sendo assim foram confeccionados grautes convencional e do tipo leve com argila expandida como agregado e aditivo incorporador de ar. Os traços foram estudados tanto em seu estado fresco quanto no endurecido e foram aplicados no preenchimento de prismas de 2 fiadas sendo, posteriormente, ensaiados a compressão observando sua resistência última e módulo de ruptura. Os resultados apresentam um comportamento atípico quanto ao esperado já que os prismas grauteados com concreto de menor resistência, o leve, apresentam resistências maiores que os convencionais.

Palavras chave: Alvenaria estrutural, Concreto, Grauteamento, Concreto leve.

Abstract

Seen to crescent disputes of the constructive section in Brazil and the great need of the application of new technologies and of material innovators in the extent of the building site, be to cure deficiencies or to reduce costs, it is done necessary the study of those elements. The present work presents a comparative study conventionally among the concrete used as grout and a concrete of low resistance and density. Being like this conventional grautes was made and of the light type with clay expanded as attaché and addictive incorporador of air. The lines were studied so much in his/her fresh state as in hardened him/it and they were applied in the completion of prisms of 2 rows being, later, rehearsed the compression observing his/her last resistance and rupture module. The results present an atypical behavior as for the expected since the prisms grauteados with concrete of smaller resistance, the light, they present larger resistances than the conventional ones.

Keywords: Structural masonry, concrete, Grouting, light weigh tconcrete.

INTRODUÇÃO

A necessidade da aplicação de novas tecnologias desde os tempos mais remotos é vislumbrada no âmbito da construção civil a se observar as inúmeras vantagens que podem ser proporcionadas. Embora a o estudo da utilização dos métodos construtivos e em especial da Alvenaria Estrutural terem alcançado ao longo dos últimos anos grande desenvolvimento, ainda assim os métodos de dimensionamento e verificação da segurança estrutural ainda são baseados em dados empíricos em muitos aspectos.

Segundo a cartilha de Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC) de 2018 de acordo com [1], a crise do setor da construção civil tem se estendido desde o segundo trimestre de 2013 até o segundo semestre do ano de 2017 com grande força e devido a isso ocorreu uma queda de aproximadamente 14,3% no Produto interno bruto (PIB) da construção civil, enquanto o PIB total do país diminuiu 5,5% no mesmo período. Com os dados apresentados fica evidente o maior impacto no segmento da construção civil. Em contraponto ainda há, mesmo que de maneira mais desacelerada, um progressivo crescimento na construção civil no país. Para isso se faz necessário a inserção de novas técnicas, materiais e diferenciados sistemas construtivos nesse segmento.

Um dos elementos da construção civil mais utilizados desde o início da história da construção das civilizações é a alvenaria incluindo a utilização e desenvolvimento da alvenaria estrutural que, de acordo com [2], obteve grande avanço nos últimos anos consolidando o processo construtivo em vários países e em especial no Brasil.

[3] e [4] definem a alvenaria como a justaposição de maciços sendo eles pedras naturais ou artificiais, ligadas entre si, de modo estável, pela combinação das juntas e interposição de argamassa ou somente por um desses meios formando um elemento coeso e estável o que se aproxima da definição da alvenaria estrutural que tem como diferença sua capacidade de suportar as cargas e solicitações.

As pesquisas na tecnologia em alvenaria estrutural tentam prever a capacidade da alvenaria e seu modo de ruptura. Pesquisadores como [5], que verificou a alteração da resistência de prismas e pequenas paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos utilizando diferentes tipos de argamassas; [6] que analisou a exposição de paredes frente a altas temperaturas observando o nível de degradação dos materiais isoladamente e em conjunto; [7] que estudou a influência da geometria de blocos cerâmicos no comportamento de paredes de alvenaria estrutural desenvolvendo um programa experimental de ensaios para paredes de alvenaria estrutural, utilizando blocos cerâmicos de diferentes geometrias e avaliando a ductilidade das paredes; [8] que analisou a importância do estudo do grauteamento de estruturas

de alvenaria estrutural ressaltando que o segmento ainda não é não totalmente esclarecido, utilizando em sua análise análises numéricas da Influência dos componentes grauteados na interação entre paredes de alvenaria estrutural com blocos de concreto; [9] e [10], [11] e [12] estudaram a resistência de alvenaria grauteada e não grauteada, ensaiando prismas e como análise foi verificado modo de ruptura dos prismas [13] com o estudo do efeito do não preenchimento das juntas verticais e a eficiência do graute na resistência da alvenaria estrutural com a finalidade de analisar seu efeito diante do cisalhamento das miniparedes e sua resistência à compressão das paredes em escala reduzida e dos prismas concluindo que o preenchimento vertical nas paredes com o graute não tem grande interferência em sua resistência final; [14] com um estudo de grautes produzidos com agregado reciclado de resíduo de bloco cerâmico incorporando teores de cal hidratada obtendo como resultado que a utilização da cal hidratada ocasiona uma perda no abatimento do concreto no estado fresco e que quanto maior o teor de cal utilizado maior a resistência final adquirida; [15] com o estudo da influência do graute e da taxa de armadura no comportamento à compressão da alvenaria de blocos de concreto observando uma diminuição na deformação de ruptura nos prismas com a utilização de grautes mais rígidos mesmo a tensão de ruptura sendo semelhantes nos dois modelos de grauteamento adotado e o aumento da resistência a compressão com a utilização do graute nas paredes e a não alteração significativa no comportamento estrutural quando é mudado o teor de armadura no grauteamento; [16] com analisou a interface do bloco em conjunto com o graute em elementos de alvenaria estrutural para obter resultados a serem analisados e como conclusão a aferição da existência uma maior aderência entre o graute e o bloco de concreto, o que impossibilita o escorregamento da armadura. O graute com maior resistência e menor relação água/cimento apresenta maior aderência; [17] avaliou Influência de blocos e argamassa na resistência à compressão e rigidez de prismas de alvenaria de concreto, grauteando prismas e verificando a influência do preenchimento dos septos dos blocos no comportamento e resistência do elemento visando melhorar a compreensão do efeito da resistência à compressão de blocos e argamassa nos mecanismos de resistência.

Este trabalho visa avaliar o efeito do grauteamento leve e convencional em prismas de blocos de concreto, observando as resistências à compressão apresentadas e seus respectivos modos de ruptura.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi dividido em etapas por se tratar de uma análise sequencial. Inicialmente foram realizadas as caracterizações dos materiais bem como a caracterização dos

blocos e da 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 x 19 x 39). As características de dimensões reais do bloco, absorção de água, teor de umidade e resistência à compressão foram determinados, em consonância a de [18], [19], [20] e [21] apresentados na Tabela I. Os ensaios de resistência à compressão dos blocos utilizados foram realizados uma prensa hidráulica MTS com capacidade de 500 kN em cada atuador.

Tabela I. Propriedades dos blocos de concreto.

Bloco	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Espessura da parede transversal (mm)	Espessura da parede Longitudinal (mm)	α (Relação Área líquida/Área bruta)	Absorção (%)	Umidade (%)	fbka (MPa)	fbkb (MPa)
14 x 19 x 39	139	189	389	25	26	0,55	6,3	12,3	6,01	12,77

Na produção da argamassa foi utilizado cimento Portland CII E-40, cal hidratada CH-III e areia natural do Rio Paraíba do Sul, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. A argamassa foi dosada conforme o traço em massa de (1:0,5:4,5), sendo o traço cimento, cal e areia, respectivamente. O preparo da argamassa foi realizado em equipamento aquecido e posteriormente ao seu preparo foi determinado o índice de consistência da argamassa, de acordo com [22], mantendo o espalhamento da argamassa na faixa de (260 ± 10) mm. Para caracterização mecânica da argamassa foram moldados seis corpos de prova de (40 x 40 x 160) 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 [23] e [24]. As características da argamassa são apresentadas na tabela II.

Tabela II. Propriedades da argamassa.

Ensaio	Resultados	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
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	-	-

O comportamento da estrutura referente a 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 [25]. Foram confeccionados 3 prismas para cada modelo,

com traço em volume de (1:2:1:1), 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.

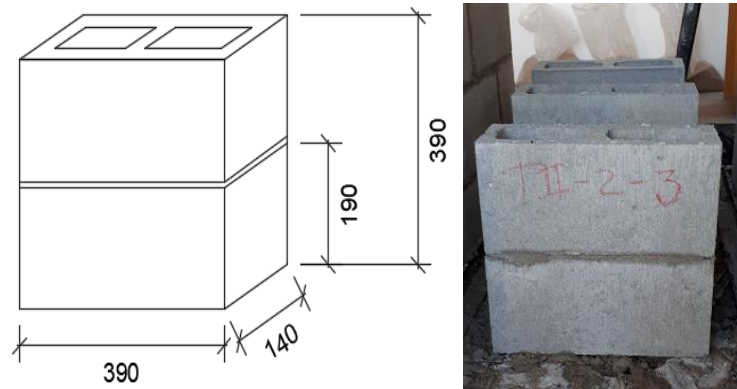


Figura 1 – Prismas

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, na direção vertical, lateral e perpendicular (horizontal) ao plano do prisma (Figura 3). Os deslocamentos e a carga aplicada foram obtidos a uma taxa de 2 Hz através do dispositivo de aquisição de dados Metrolog SIAD.

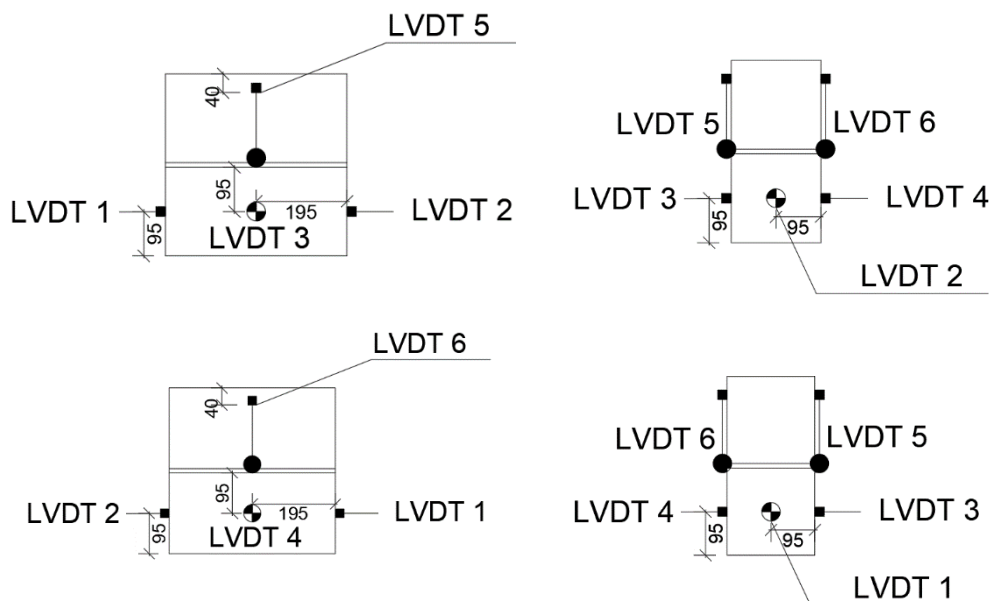


Figura 2 - Instrumentação Prismas



Figura 3- Instrumentação Prismas

Tabela III - Relação dos LVDT's e seu posicionamento nos prismas

TRANSDUTOR LINEAR	POSICIONAMENTO
LVDT-1	Lateral esquerda
LVDT-2	Lateral direita
LVDT-3	Frontal
LVDT-4	Posterior
LVDT-5	Vertical frontal
LVDT-6	Vertical posterior

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram confeccionados os grautes do tipo convencional, contendo cimento, areia, cal e brita com traço em volume de (1:2:1:1) e o concreto de preenchimento do tipo leve, com os elementos cimento, cal, areia, argila expandida e incorporador de ar em sua composição com traço em volume de (1:1:2:1:0,15) apresentadas na Figura 1. Seu espalhamento determinado segundo (NBR 15823 (2017)). apresentou valores consideráveis para utilização com 520 mm e 540 mm nos concretos convencional e leve, respectivamente. Quanto a sua densidade o concreto convencional apresentou maior valor que a do graute construído com incorporador de ar e argila expandida de acordo com a [26] com valores para o concreto convencional de 2347,23 kg/m³ e o concreto leve de 1824,18 kg/m³.

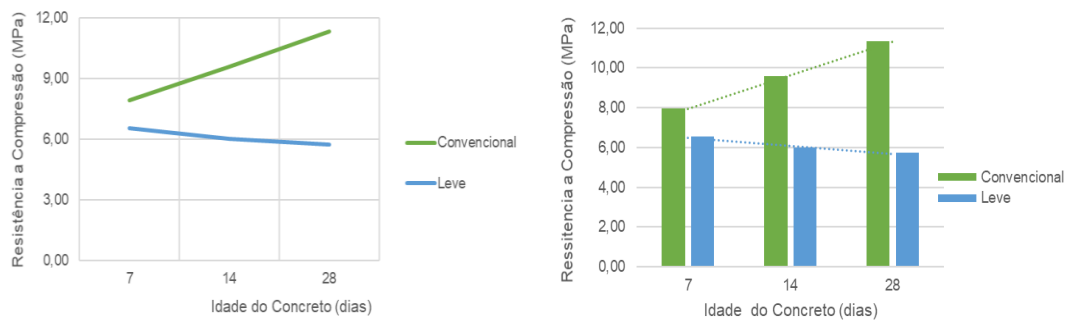


Figura 1- Resistência dos grautes

Na Tabela IV 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. 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 IV. Resistência a compressão dos prismas

Padrão	Repetições			Média (MPa)	Desvio Padrão	CV
	1	2	3			
Sem GRAUTE (PSG)	2,93	3,01	2,69	2,87	0,14	0,05
GRAUTE convencional (PGC)	5,91	5,09	5,07	5,36	0,39	0,07
GRAUTE leve (PGL)	4,63	4,38	4,98	4,66	0,25	0,05

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 [27] 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.

[5] e [28] 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. A argamassa é mais deformável do que os blocos, o modo de ruptura dos prismas sob compressão é caracterizado por esmagamento localizado da argamassa, em geral segundo [29]. Na Figura 8 são apresentadas as diferenças nas rupturas de cada modelo de prisma ensaiados



Figura 8- Módulo de ruptura prismas sem graute, graute convencional e leve, respectivamente

Como visto na Figura 8, 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. [17] e [30] obtiveram um modo de ruptura similar em seus ensaios. Na Figura 8 verifica-se, também, o modo de ruptura dos prismas grauteados com concreto leve e convencional. Nesse caso a ruptura dos prismas aconteceram de modo 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. [16] 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 [17] evidenciou que a utilização do graute de maneira vertical é diretamente ligada com a resistência do prisma. Quanto maior a resistência a compressão dos grautes de preenchimento maior a resistência do prisma, evidenciado também pelo presente trabalho. De acordo com [16] 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 onde seu 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. Os deslocamentos, modelo de ruptura são 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 ao módulo de ruptura de cada um desses modelos apresentou consideráveis diferenças visto que os prismas sem graute apresentaram uma ruptura inicial apenas no bloco, onde as trincas evoluíam-se e rompiam a argamassa de assentamento, causando assim a ruptura do corpo de prova. Nos prismas grauteados com concreto convencional a ruptura do corpo de prova acontece com o deslocamento do concreto de preenchimento com o bloco causando instabilidade para

prosseguir o ensaio, levando assim a ruptura do elemento. Esse modelo apresentou maior resistência à compressão. Nos prismas grauteados com concreto de baixa resistência e baixa densidade, ou concreto leve, a ruptura do corpo de prova acontece de forma unitária, de uma só vez. O modelo inicialmente apresenta fissuras rompendo assim o bloco e tendo por fim deslocamento do concreto de preenchimento com o bloco. Nesse deslocamento é possível analisar que a ruptura desse modelo de corpo de prova ensaiado foi por esmagamento do bloco, argamassa e do graute. Vistos as conclusões dos resultados apurados no decorrer do trabalho é de grande importância a necessidade de pesquisas mais aprofundadas nesse tema visto a possível possibilidade de proporcionar ao âmbito da construção civil uma melhora no seu desempenho e um ganho econômico. O estudo ressalta ainda, a necessidade de estabelecer nos códigos de engenharia uma melhora quanto as normas de aceitação do graute e comportamento da alvenaria estrutural quando submetida a utilização de novos materiais.

REFERÊNCIAS

- [1] IBGE, (PAIC) the Annual Survey of the Construction Industry, (2018)
- [2] PORTO, T. B. Study of the interaction of structural masonry walls with the foundation structure. Master's Dissertation - Federal University of Minas Gerais (2010).
- [3] TAUIL, C. A.; Nese, F. J. M. Alvenaria Estrutural. São Paulo: Pini, 183 p. (2010).
- [4] BUSSAB, S.; Cury, F. J. Architecture. In: TAUIL, C. A. Technical Manual of Masonry - São Paulo, 17-42. (nineteen ninety).(1990).
- [5] SANTOS, M. J. F. Analysis of the prism strength and small walls of structural ceramic masonry for different types of mortar. Masters dissertation. Federal University of Santa Maria, Santa Maria.135p. (2008)
- [6] RIGÃO, A. O. Behavior of small walls against high temperatures. Master's Dissertation - Federal University of Santa Maria, Santa Maria. (2012)
- [7] MARTINEZ, P. H. Influence of the geometry of ceramic blocks on the behavior of structural masonry walls. Master's Dissertation - Paulista State University Júlio De Mesquita Filho, São Paulo. (2017)
- [8] REIS, P. F. O. Numerical analysis of the influence of grating segments on the interaction between structural masonry walls and concrete blocks. Master's Dissertation - Federal University of Goiás. (2010)
- [9] KHALAF, F.M. Factors influencing compressive strength of concrete masonry prism, Mag. Concr. Res. 48 (175) (1996). June.
- [10] KHALAF, F.M. Blockwork masonry compressed in two orthogonal directions, J. Struct. Eng. ASCE 123 (5) (1997) 591–596.
- [11] KHALAF, F.M.; HENDRY, A.W.; FAIRBAIRN, D.R. The strength of blockwork prisms tested parallel to the bed face, Masonry Int. J. 6 (1) (1992) 29–35.
- [12] KHALAF, F.M.; HENDRY, A.W.; FAIRBAIRN, D.R. Study of the compressive strength of blockwork masonry, ACI J. 91 (4) (1994) 367–375.

- [13] MIRANDA, L. A. Study of the effect of non-filling of vertical joints and grating efficiency on structural strength of ceramic blocks. Masters dissertation. School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos (2012).
- [14] GIESELER, S. E. e TUTIKIA, B. F. Study of grouts made with recycled aggregate from waste of ceramic block incorporating levels of hydrated lime. *Ambiente Construído*, Porto Alegre. (2013) 13: 303-3015.
- [15] CAMACHO, J.S., LOGULLO, B. G., PARSEKIAN, G. A., SOUDAIS, P. R. N. The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behaviour. *IBRACON Struc. Mater. J.*, (2015) 8:353-364.
- [16] IZQUIERDO, O. S. Study of the interface block / grate in elements of structural masonry. PhD thesis - School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos. (2015)
- [17] 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) 233-241, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.112>.
- [18] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C90– 14: Standard specification for loadbearing concrete masonry units, West Conshohocken, 2014, p. 4.
- [19] BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL NORMS, NBR 12118: Hollow concrete blocks for concrete masonry – Test methods, Rio de Janeiro, 2013, p. 14.
- [20] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C140M – 17b: Standard test methods for sampling and testing concrete masonry units and related units, West Conshohocken, 2017, p. 26.
- [21] BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL NORMS, NBR NM 23: Portland cement and other powdered material – Determination of density, Rio de Janeiro, 2000, p. 2.
- [22] BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL NORMS, NBR 13276: Mortars applied on walls and ceilings – Determination of the consistence index, Rio de Janeiro, 2016, p. 2.
- [23] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM C1437 – 15: Standard test method for flow of hydraulic cement mortar, West Conshohocken, 2015, p. 2.
- [25] BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL NORMS, NBR 15961-2: Structural masonry – Concrete blocks – Part 2: Execution and site control, Rio de Janeiro, 2011.
- [26] BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL NORMS, NBR 9778: Structural masonry – Grouting of concret
- [27] CHEEMA, T.S.; KLINGNER, R. E. Compressive strength of concrete masonry prism, *Am. Concr. Inst. ACI J.* 83 (1) (1986) 88–97.
- [28] MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H.R. Mechanics of hollow concrete block masonry prism under compression: Review and projects, *Cement and Concrete Composites.* 29 (2007) 181-192.
- [29] 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) 493–508,
- [30] 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) 493–508,