

Estudo da influência da geometria na resistência à compressão de blocos vazados de concreto utilizando como aplicação o concreto autoadensável

(Study of the influence of geometry on the compressive strength of hollow concrete blocks using as an application the self-compacting concrete)

M. Bortoletto¹; M. C. F. Albuquerque¹; R. G. Silva¹; R. G. Silva¹; S.M. Bigotto¹; F. A. Spósito¹ M. A. M. Alcantara¹

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP
Alameda Bahia, 550, Zona Norte, Ilha Solteira-SP¹
marcelobortoletto05@gmail.com

Resumo

A alvenaria é um sistema construtivo utilizado desde o começo da atividade humana para a construção de estruturas, e vem se modificando ao longo dos anos devido ao avanço tecnológico. Este trabalho tem como objetivo averiguar o comportamento a resistência à compressão axial de diferentes tipos de geometrias de blocos de concreto, mediante o uso e aplicação do concreto autoadensável para fabricação das unidades. Seis diferentes tipos de blocos de concreto, com três geometrias distintas, possuindo diferentes áreas líquidas foram fabricadas, utilizando o traço 1:5. Os blocos foram ensaiados a resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias de idade. Com base nos resultados obtidos, os blocos com maior área líquida atingiram maiores resistências à compressão axial. Entre os tipos de blocos de concreto estudados nesta pesquisa, todos os blocos alcançaram os requisitos de resistência à compressão axial de blocos com função estrutural estabelecidos pela Norma Brasileira NBR 6136.

Palavras chave: Alvenaria, Geometrias, Blocos de concreto, Concreto autoadensável.

Abstract

Masonry is a constructive system used since the beginning of human activity for the construction of structures, and has been modified over the years for technological advancement. This paper aims to investigate the behavior of the axial compression strength of different types of concrete block geometries, through the use and application of self-compacting concrete for the fabrication of the units. Six different types of concrete blocks, with three different geometries, having different net areas were fabricated using the mixture 1:5. The blocks were tested for axial compressive strength at 7 and 28 days of age. Based on the results obtained, the blocks with larger net area reached higher axial compressive strengths. Among the types of concrete block studied in this paper, all blocks reached the axial compression strength requirements of blocks with structural function established by Brazilian Standard NBR 6136.

Keywords: Masonry, Geometries, Concrete blocks, Self-compacting concrete.

INTRODUÇÃO

O sistema construtivo em alvenaria é aplicado desde o início da atividade humana para execução de estruturas. Neste sistema construtivo, as próprias paredes são responsáveis por absorverem os esforços atuantes na estrutura [1]. As construções em alvenaria, demanda estudos bem detalhados, para definir a melhor concepção para o projeto, as modulações das unidades e os acabamentos. Entre as suas vantagens, estão a otimização de tarefas nas construções, o controle em cada etapa da construção e eliminação de interferências, diminuindo assim o desperdício de materiais [2].

Em relação aos componentes da alvenaria estrutural, as unidades são um dos principais constituintes da alvenaria, juntamente com a argamassa, influenciando de forma significativa na capacidade de resistência e durabilidade da estrutura, sendo os blocos de concreto uma das unidades mais utilizadas atualmente [1,3]. Hendry *et al.* [4] afirmaram que há diversos fatores que influenciam na resistência à compressão da alvenaria. Dentre os fatores estão as características da unidade, como a geometria, resistência, relação altura/espessura e absorção de água. A resistência à compressão axial dos blocos de concretos é uma propriedade bastante importante, pois quanto maior a resistência do bloco, maior será a durabilidade e, além disto, a resistência do unidade em conjunto com a especificação apropriada da argamassa, é essencial para garantir um bom desempenho da alvenaria quanto a resistência à compressão [3].

Com o avanço de pesquisas e tecnologias foram desenvolvidos novos tipos de blocos, com melhores propriedades térmicas, uma maior uniformidade nas dimensões e variedades nos tipos e dimensões [5]. Em relação à geometria das unidades, esta é extremamente fundamental nos aspectos de resistência mecânica e nas distribuições de tensões. Rizzatti *et al.* [6] concluíram que uma pequena modificação na geometria das unidades, a posição e quantidade de furos, quando aplicado uma determinada carga, podem ocorrer concentrações de tensões não desejadas nos blocos, limitando a capacidade resistente da alvenaria. Rizzatti [7] em seu trabalho, analisou quatro diferentes tipos de geometrias de blocos, no qual duas geometrias apresentavam formatos circulares, possuindo áreas líquidas distintas, uma geometria com formato retangular e uma geometria com formato retangular com duplo septo central. O autor concluiu que as diferentes geometrias empregadas, não influenciaram de forma significativa na resistência da unidade.

No que concerne ao processo convencional de fabricação dos blocos de concreto, a fabricação é realizada em fábricas automatizadas, utilizando um concreto de mistura seca, possibilitando uma desforma imediata. Ao final do processo de fabricação, os blocos podem

apresentar irregulares em sua superfície e grandes quantidade de vazios, em virtude do processo de vibro-prensagem.

Mohamad *et al.* [8] investigaram a microestrutura de blocos de concretos vibro-compactados à seco através de um microscópio eletrônico de varredura. Os autores detectaram a presença de vazios internos na microestrutura, apresentando uma baixa quantidade de finos envolvendo a partícula do agregado, enfraquecendo a microestrutura e resultando em uma perda significativa de resistência. Considerando esta problemática, uma alternativa é a utilização do concreto autoadensável, no qual é compreendido como um concreto de mistura fluida, podendo ser compactado nas fôrmas, através da ação do seu próprio peso, sem a necessidade de vibração [9]. Este tipo de concreto permite um excelente acabamento na superfície e melhores características do concreto no estado endurecido, como resistência mecânica e durabilidade [10].

Este artigo tem como objetivo averiguar o comportamento a resistência à compressão axial de diferentes tipos de geometrias de blocos de concreto, mediante uso e aplicação do concreto autoadensável para fabricação dos blocos e verificar a melhor geometria proposta neste estudo, em relação à resistência à compressão axial.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Na preparação da mistura do concreto autoadensável para fabricação dos blocos, foram utilizados os seguintes materiais: cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, aditivo superplastificante e água. Os detalhes de cada material estão mostrados na sequência.

Cimento

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI). A Tabela I mostra as especificações químicas, físicas e mecânicas do cimento, fornecidas pelo fabricante.

Tabela I - Propriedades químicas, físicas e mecânicas do cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI)

Químicos				Físicos e mecânicos						
Teores (%)				Finura (%)	Blaine	Tempo de Pega		Resistência à compressão (MPa)		
PF	MgO	SO ₃	RI	#325	(cm ² /g)	Início (min)	Fim (min)	1 dia	3 dias	28 dias
6,10	4,01	3,27	2,38	0,15	5909,33	171,67	265,33	27,17	35,06	40,16

Agregado Miúdo

Foram utilizados dois tipos de agregado miúdo para produção do concreto autoadensável, areia média e areia fina natural, obtidas no município de Pereira Barreto-SP. A Tabela II apresenta a caracterização física dos agregados miúdos de acordo com a norma NBR 7211:2009 [11].

Tabela II - Caracterização física dos agregados miúdos

Propriedades	Peneira (mm)	Areia média natural	Areia fina natural
% Retida Acumulada	4,75	0,00	0,25
	2,4	0,85	0,27
	1,18	2,76	0,44
	0,60	13,41	3,08
	0,30	56,98	34,61
	0,15	97,08	97,18
	Fundo	100,00	100,00
Diâmetro máximo (mm)		1,20	0,60
Módulo de Finura (mm)		1,71	1,40
Massa específica (g/cm ³)		2,62	2,63
Massa específica aparente (g/cm ³)		2,58	1,71
Material pulverulento (%)		0,51	0,39

Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi de origem basáltica, extraído do município de Itapura-SP. O agregado graúdo possui uma faixa granulométrica de 4,75 mm a 12,5 mm, classificado segundo a norma NBR 7211:2009 [11]. A Tabela III apresenta a caracterização física do agregado graúdo utilizado de acordo com a norma NBR 7211:2009 [11].

Aditivo superplastificante

O aditivo superplastificante utilizado foi o TEC-FLOW 7000. Refere-se à um aditivo à base de policarboxilato e possui uma massa específica média de 1,1 g/cm³.

Água

A água de amassamento utilizada foi proveniente do abastecimento público do município de Ilha Solteira – SP.

Tabela III - Caracterização física do agregado graúdo

Propriedades		
	Peneira (mm)	Brita
% Retida Acumulada	19,00	0,00
	12,50	0,10
	9,50	4,33
	6,30	47,89
	4,75	82,29
	2,36	99,60
	Fundo	100,00
Diâmetro máximo (mm)		9,50
Módulo de Finura (mm)		5,90
Massa específica (g/cm ³)		2,91
Massa específica aparente (g/cm ³)		2,84
Material pulverulento (%)		0,65

MÉTODOS

Processo das misturas

A escolha do traço do concreto autoadensável, foi baseado no método de dosagem proposto por Tutikian [10]. O traço adotado neste estudo foi o traço 1:5. A Tabela IV apresenta as especificações do traço utilizado na produção dos blocos.

Tabela IV - Traço de concreto autoadensável utilizado na produção dos blocos vazados de concreto

Teor de argamassa (α) = 63%					Água/ Cimento	Aditivo Superplastificante (%)
Traço	Cimento	Areia Média	Areia Fina	Brita 0		
1:5	1,00	2,50	0,28	2,22	0,65	0,5

Geometrias e processo de fabricação e dos blocos

A definição das geometrias estudadas neste artigo, não seguiu de forma rigorosa as geometrias produzidas industrialmente, tendo como objetivo estabelecer uma geometria alternativa para os blocos vazados de concreto. Foram fabricados seis diferentes tipos de blocos vazados de concreto, sendo utilizados três geometrias diferentes, com diferentes áreas líquidas. As geometrias empregadas foram as geometrias circulares, hexagonais e retangulares. As dimensões externas do bloco não foram modificadas, sendo utilizada a dimensão 150 x 190 x 290 mm. Esta largura foi implementada devido à possibilidade de utilização do bloco em sua forma aparente, em decorrência do bom acabamento superficial do bloco. As espessuras das paredes longitudinais e transversais dos blocos foram alteradas, entretanto, a espessura ao longo da altura do bloco permaneceu inalterada. A efetuação do cálculo da área líquida do bloco foi realizada conforme as medidas geométricas de cada tipo de bloco utilizado. A Tabela V e a Figura 1 apresentam detalhadamente as características físicas e os tipos dos blocos confeccionados nesta pesquisa.

Tabela V - Características físicas dos blocos vazados de concreto

Característica	Bloco vazado de concreto					
	GC-1	GC-2	GH-1	GH-2	GR-1	GR-2
Área Bruta (mm ²)	43500	43500	43500	43500	43500	43500
Área Líquida (mm ²)	27792	24493	26100	22500	24500	23550
Área Líquida / Área Bruta	0,64	0,56	0,60	0,52	0,56	0,54
Área de Vazios (%)	36,11	43,69	40,00	48,28	43,68	45,86

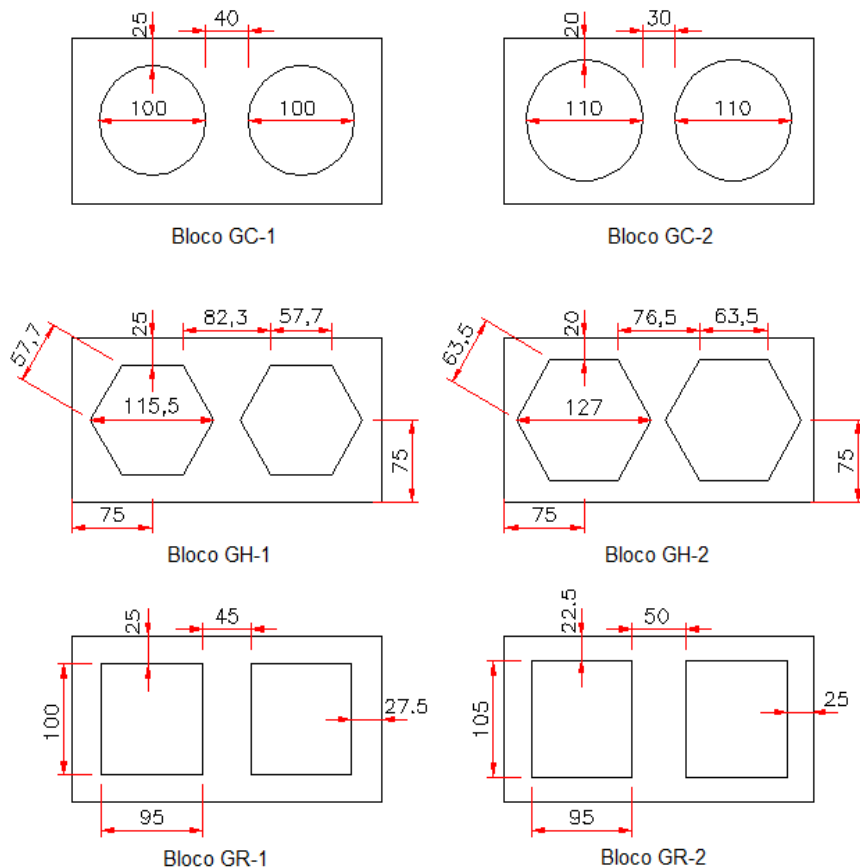


Figura 1 - Tipos de blocos utilizados na pesquisa

O processo de fabricação dos blocos vazados de concreto foi diferente do processo de fabricação comercialmente utilizado, no qual é empregado um concreto de mistura seca e vibroprensado. A fabricação dos blocos foi realizada em laboratório, utilizando um concreto de mistura fluida, com a finalidade de alcançar uma maior resistência mecânica e um excelente acabamento final na superfície dos blocos. Os blocos não necessitaram de nenhum tipo de vibração, em decorrência da consistência fluida do concreto. Os vazios do bloco foram obtidos através da inserção de dois prismas de EPS (poliestireno expandido) para cada tipo de geometria empregada. Depois de 24 horas do período de concretagem, os blocos foram desmoldados e retirados os prismas de EPS, determinando as dimensões, a área líquida efetiva e qualidade do acabamento final da superfície dos blocos. Logo após o período de desforma, iniciou-se o processo de cura dos blocos, em câmara úmida, permanecendo na câmara úmida por um período de 7 dias. Após este período, os blocos ficaram alocados em ambiente externo à câmara úmida.

Ensaio realizados

Com o objetivo de analisar a trabalhabilidade do concreto autoadensável, foram efetuados ensaios no estado fresco. A execução de ensaios do concreto autoadensável no estado fresco é

importante para o obter as propriedades de fluidez, a coesão necessária para que a mistura esco e resistência à segregação. No estado fresco foram realizados os ensaios de espalhamento e do tempo de escoamento, de acordo com a NBR 15823-2:2010 [12]. Estes ensaios tem como principal finalidade analisar a capacidade de preenchimento e a fluidez do concreto autoadensável. Ainda, estes ensaios possibilitam verificar se o concreto apresenta ou não segregação.

No estado endurecido foram executados ensaios de resistência à compressão axial, conforme a NBR 5739:2018 [13] e módulo de elasticidade, conforme a norma NBR 8522:2017 [14]. Os ensaios transcorreram aos 7 e 28 dias de idade, realizando seis amostras para cada ensaio.

Em relação aos blocos de concretos, estes foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão axial, de acordo com a NBR 12118:2014 [15] aos 7 e 28 dias de idade após sua fabricação, realizando um total de seis amostras para cada tipo de bloco estudado. Na regularização da superfície dos blocos, foram utilizadas chapas de madeirite em ambas as superfícies do bloco. Os blocos foram ensaiados utilizando uma Máquina Universal de Ensaio EMIC - INSTRON, com capacidade de carga de 200 toneladas. A resistência à compressão axial dos blocos foi calculada utilizando a área bruta e área líquida das unidades, com o propósito de averiguar a influência da geometria na resistência à compressão axial dos blocos. A Figura 2 mostra o ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto realizado na Máquina Universal de Ensaio EMIC – INSTRON.



Figura 2 - Regularização das superfícies do bloco

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concreto autoadensável

Nos ensaios no estado fresco, o concreto autoadensável apresentou resultados no ensaio de espalhamento de 620 mm e um tempo de escoamento de 3,0 segundos. A partir destes resultados, o concreto autoadensável alcançou os requisitos de fluidez recomendados por Tutikian e Dal Molin [10]. A Figura 3 ilustra o resultado do ensaio de espalhamento do concreto autoadensável.



Figura 3 - Ensaio de espalhamento do concreto autoadensável

Em consideração aos resultados no ensaio endurecido, os resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias, as amostras obtiveram um aumento de 20,90% em relação às amostras aos 7 dias de cura. No ensaio para analisar o módulo de elasticidade estático, as amostras apresentaram um aumento de 9,35% em relação às amostras com 28 dias de cura. A Tabela VI mostra os resultados obtidos dos ensaios no estado endurecido do concreto autoadensável. É importante notar os baixos valores de coeficientes de variação e desvio padrão das amostras, apresentando valores aceitáveis.

Tabela VI - Propriedades no estado endurecido do concreto autoadensável

Dias	Resistência à Compressão			Módulo de Elasticidade		
	Média (MPa)	Sd (MPa)	C.V (%)	Média (GPa)	Sd (GPa)	C.V (%)
7	19,28	0,44	2,30	25,44	0,63	2,49
28	23,31	0,28	1,22	27,82	0,86	3,09

Bloco Vazado de Concreto

No cálculo da resistência à compressão axial dos blocos vazados de concreto, os valores das tensões foram calculados em relação à área bruta e área líquida dos blocos. Os valores de resistências à compressão axial dos blocos aos 7 e 28 dias estão apresentados na Tabela VII e VIII, respectivamente.

Tabela VII - Resistência média à compressão dos blocos vazados de concreto aos 7 dias

Tipo de bloco	Resistência Média (f_{bm}) (MPa)		Sd (MPa)	C.V (%)
	Área Bruta	Área Líquida		
GC-1	11,16	17,47	0,57	5,09
GC-2	9,21	16,36	0,86	9,35
GH-1	10,35	17,24	0,22	2,14
GH-2	8,16	15,78	0,57	6,94
GR-1	9,33	16,56	0,57	6,11
GR-2	8,92	16,47	0,46	5,21

Tabela VIII - Resistência média à compressão dos blocos vazados de concreto aos 28 dias

Tipo de bloco	Resistência Média (f_{bm}) (MPa)		Sd (MPa)	C.V (%)
	Área Bruta	Área Líquida		
GC-1	14,94	23,38	0,25	1,70
GC-2	11,39	20,23	1,02	8,95
GH-1	12,73	21,21	0,47	3,66
GH-2	10,20	19,73	0,59	5,76
GR-1	11,64	20,66	0,37	3,20
GR-2	10,82	19,99	0,96	8,90

Os blocos com geometrias circulares GC-1 e GC-2 tiveram um aumento de 33,87% e 23,66% na resistência à compressão axial aos 7 para os 28 dias, respectivamente. Já os blocos com geometrias hexagonais GH-1 e GH-2, alcançaram um aumento de resistência de 23,0% e 25,0% e os blocos com geometrias retangulares GR-1 e GR-2 apresentaram um acréscimo de 24,75% e 21,3%, respectivamente.

De acordo com os resultados alcançados, os blocos GC-1, GH-1, GR-1, estes com a geometria de maior área líquida obtiveram uma maior resistência à compressão axial, como relatado nas Tabelas VII e VIII, respectivamente. Com base nos resultados obtidos, percebe-se dentre os diferentes tipos de blocos estudados, a geometria não se mostrou de maneira significativa como o fator influenciador na resistência à compressão axial das unidades, sendo a área líquida o fator predominante na resistência à compressão axial dos blocos. É importante salientar os baixos valores de coeficientes de variação e desvio padrão das amostras, estes inferiores a 10%, apresentando valores aceitáveis.

Todas as geometrias empregadas neste trabalho apresentaram os requisitos de resistências à compressão axial de blocos com função estrutural, estabelecidos pela NBR 6136:2016 [16]. Em relação à forma de ruptura, a maioria dos blocos apresentaram a mesma forma de ruptura, exibindo rupturas em formato cônico. A Figura 4 mostra a ruptura do bloco vazado de concreto.



Figura 4 - Ruptura do bloco vazado de concreto

CONCLUSÕES

Este trabalho procurou investigar a influência de diferentes geometrias de blocos vazados de concreto submetidos aos esforços de compressão axial, utilizando o concreto autoadensável para fabricação dos blocos vazados de concreto. De acordo com as análises dos resultados, os blocos GC-1, GH-1 E GR-1, possuindo áreas líquidas maiores entre as geometrias, apresentaram maiores resistências à compressão axial. O bloco com geometria circular GC-1 apresentou a maior resistência à compressão axial entre os tipos de blocos estudados, alcançando uma resistência à compressão axial de 23,38 MPa referida à área líquida aos 28 dias. Todos os tipos de blocos exibiram baixos valores de desvio padrão e coeficientes de variação, estes inferiores a 10%, não mostrando uma discrepância nos valores entre as amostras.

De maneira geral, todos os tipos de blocos que foram estudados neste trabalho, estabeleceram os requisitos de resistências à compressão axial de blocos com função estrutural segundo a norma NBR 6136 [16].

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa Votorantim Cimentos pela disponibilização de materiais, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. RAMALHO, M. R. S. CORRÊA. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: PINI, 2003.
- [2] G. MOHAMAD, H. R. ROMAN, E. RIZATTI, R. ROMAGNA. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais: Alvenaria Estrutural**. 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2010. Cap. 32. p. 1045-1076.

- [3] G. PARSEKIAN, H. R. ROMAN, C. O. SILVA, M. S. FARIA. Concrete block. **Long-term Performance And Durability Of Masonry Structures**, p.21-57, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-102110-1.00002-9>.
- [4] A. W. HENDRY, B. P. SINHA, S. R. DAVIES. **Design of Masonry Structures**. Department of Civil Engineering. University of Edinburgh. UK. E & FN SPON. 3ª ed. London. 2004.
- [5] A. W. HENDRY. Masonry walls: materials and construction. **Construction And Building Materials**, v. 15, n. 8, p.323-330, dez. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0950-0618\(01\)00019-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0950-0618(01)00019-8).
- [6] E. RIZZATTI, ROMAN, H. R., G. MOHAMAD, E. Y. NAKANISHI. Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 2, p.730-746, 22 set. 2011.
- [7] E. RIZZATTI. **Influência da geometria do bloco cerâmico no desempenho mecânico da alvenaria estrutural sob compressão**. 2003. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- [8] G. MOHAMAD, P. B. LOURENÇO, H. R. ROMAN, E. RIZATTI, C. S. BARBOSA. Estudo de caracterização mecânica de blocos de concreto vibro-compactados à seco. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p.638-657, 2011.
- [9] P. K. MEHTA, P. J. M. MONTEIRO. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008. 674 p.
- [10] B. F. TUTIKIAN, D. C. DAL MOLIN. **Concreto auto-adensável**. Porto Alegre: Pini, 2008. 144 p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2009. 9 p.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823 - 2**: Concreto autoadensável Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017. 5 p.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017. 20 p.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014. 14 p.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.