

Estudo do volume de pasta em diferentes composições de agregados para concreto autoadensável

Cassia V. A. de Melo ⁽¹⁾, Roberto dos S. Monteiro ⁽¹⁾ e Paulo C. C. Gomes ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Laboratório de Estruturas e Materiais do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, Brasil.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.6045>

RESUMO

O artigo aborda a redução do volume de pasta em concretos autoadensáveis (CAA) com diferentes composições de agregados, verificando o atendimento às propriedades de autoadensabilidade e resistência à compressão. Estudos têm mostrado que as composições de agregados influenciam no volume de pasta necessário para o alcance da autoadensabilidade. Porém, elevados volumes de pasta têm sido utilizados na obtenção de CAA sem nenhum critério de avaliação. Neste contexto, o estudo avalia as propriedades de autoadensabilidade e de resistência à compressão de CAA com diferentes volumes de pasta e composições de agregados. Os CAAs com diferentes composições (binária, ternária e quaternária) de agregados foram inicialmente obtidos com 40 % de pasta, em seguida, novos CAAs foram obtidos com a redução do volume de pasta para 38 %, 35 % e 33 %. Nestes concretos, as propriedades de autoadensabilidade foram avaliadas através dos ensaios de espalhamento (*slump flow*), Funil V e caixa L. Para os CAA, com 40 % de pasta, foram obtidas curvas experimentais obtendo o módulo de distribuição (*q*) do modelo de Alfred, o que mostrou que nem sempre o CAA atende aos “*q*” indicados na literatura. Os resultados mostraram que o CAA com composição quaternária de agregados atendeu aos parâmetros de autoadensabilidade praticamente em todos os volumes de pasta utilizados, e que o atendimento com as composições binária e ternária, depende do volume de pasta. A resistência à compressão tornou-se maior com o aumento do volume de pasta e do número de combinações de agregados.

PALAVRAS CHAVE: composição de agregados, volume de pasta, concreto autoadensável.

1.- INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) pode ser considerado uma das maiores descobertas da indústria de concreto dos últimos tempos. Devido aos problemas de concretagem nas obras do Japão, a partir de 1983, percebeu-se a necessidade de se estudar um concreto que preenchesse todos os espaços das fôrmas a partir de seu peso próprio, sem vibração [1]. O destaque do CAA se deve ao alcance no estado fresco de três propriedades: capacidade de

preenchimento, habilidade de passagem por obstáculos e resistência à segregação [2, 3]. Desde então, o CAA vem sendo estudado por muitos pesquisadores [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Comparando-se as dosagens do concreto convencional (CC) com as dosagens do CAA, constata-se que são muito distintas, por este último necessitar, em geral, de adições minerais e aditivos químicos [3], além de ter a característica de, geralmente, apresentar um maior consumo de pasta e uma relação agregado graúdo e miúdo menor que a do CC. Além disso, o agregado graúdo tem seu tamanho limitado já que, quanto maior o diâmetro deste, maior a dificuldade de passagem por obstáculos do concreto [1, 5]. Por outro lado, o volume de agregado nesses concretos equivale a uma porcentagem significativa, em torno de 60% a 90% do volume total de concreto [4, 6]. Considera-se, portanto, a questão do empacotamento de agregados, para que possa garantir uma melhor trabalhabilidade no estado fresco e um menor consumo de pasta, justamente por promover um menor índice de vazios entre as partículas [9, 10, 11, 12].

Dentre os modelos de empacotamento, tem-se o modelo A&A modificado, para a otimização do CAA. Este modelo considera os diâmetros mínimo e máximo dos materiais, cujo valor máximo de empacotamento é obtido em função de um módulo de distribuição (q) pretendido, referente a um determinado tipo de concreto [13, 14]. No CAA, uma mistura passa a ter um menor módulo de distribuição de 0,22 a 0,25, assim incorporando partículas mais finas [13]. Valores de q iguais a 0,21 e 0,26 também foram verificados nas misturas de CAA, como também valores menores que 0,28 [14]. Valores menores que 0,25 resultam em misturas autoadensáveis e, aproximando-se de 0,30, os valores de “q” aplicam-se em concretos adensados por vibração [14, 15].

Em um sistema de partículas granulares como o concreto, a mobilidade é diretamente proporcional ao afastamento dos grãos em um meio fluido, entretanto, este em elevadas quantidades, representa um aumento no custo de produção [16]. O empacotamento dos grãos, e a conseqüente redução dos vazios, possibilita reduzir o volume de pasta. O volume de pasta necessário, nesse caso, será menor, quando alcançado um maior empacotamento; por outro lado, quando disponível em excesso sobre as superfícies das partículas de agregados, o volume de pasta será maior [17]. O aumento do teor de pasta e a necessidade de redução da mesma, no caso do CAA, tem sido objeto de estudos que se concentram na dosagem de agregados graúdos e miúdos, e na variação do teor de pasta [1, 2, 16, 17].

Portanto, o objetivo do estudo consiste em variar o volume de pasta, entre 40% a 33%, em CAAs com diferentes composições de agregados (binária, ternária e quaternária), e avaliar o atendimento destes CAAs às propriedades de autoadensabilidade e resistência à compressão. Os CAAs com 40% e diferentes composições de agregados foram obtidos em estudo prévio [21]. No estudo, estes foram avaliados de acordo com o modelo de empacotamento de Alfred, através da determinação do módulo de distribuição (q) para CAA, comparando-se aos valores indicados na literatura para o CAA.

2.- MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Composições de agregados

As composições de agregados binária (B), ternária (T) e quaternária (Q) estão apresentadas na Tabela 1, obtidas de Monteiro *et al.* (2015) [21]. Na Figura 1, estão ilustradas as curvas de algumas composições.

Tabela 1. Percentagem e propriedades dos agregados obtidos pelo método da maior massa unitária

Composição	Agregados (%)				Propriedades físicas	
	AF	AG	B12	B19	IV (%)	MU (Kg/m ³)
AFB12	45	0	55	0	30,1	1866,3
AFB19	45	0	0	55	27,6	1917,0
AMB12	0	50	50	0	34,7	1743,5
AMB19	0	45	0	55	31,3	1822,4
AFAMB12	23	27	50	0	33,6	1767,7
AFAMB19	23	27	0	50	30,9	1822,9
AFB12B19	45	0	25	30	31,9	1804,5
AMB12B19	0	40	27	33	32,6	1796,3
AFAMB12B19	22	28	22	28	32,1	1803,4

Legenda: AF – Areia Fina (1,2 mm); AM – Areia Média (2,4 mm); B12 – Brita 12,5 mm; B19 – Brita 19 mm; IV – Índice de Vazios; MU – Massa unitária.

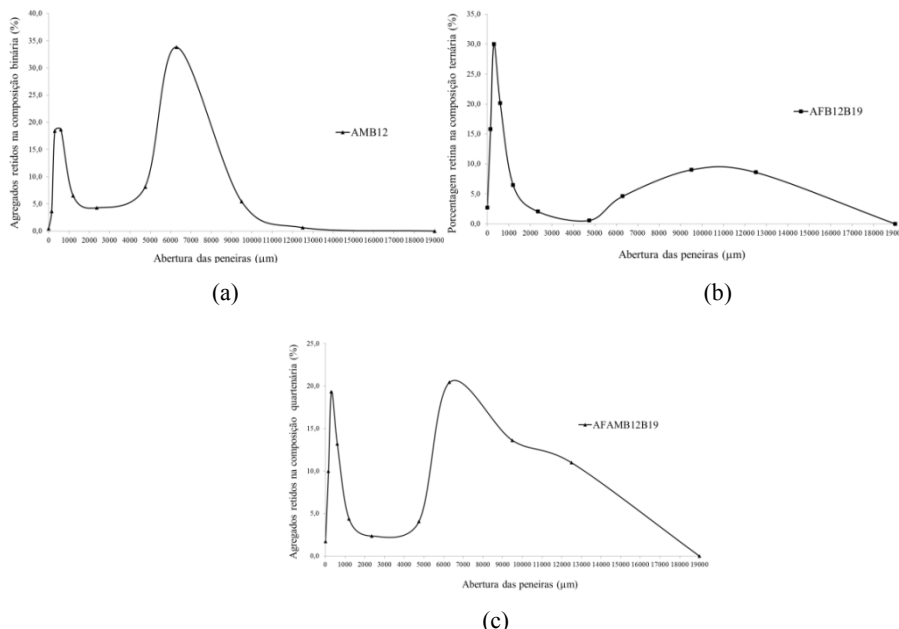


Figura 1. Curvas de composições de agregados (a) binária, (b) ternária e (c) quaternária

Na Tabela 1 observa-se que as composições AFB19, AMB19, AFB12, AFAMB19 e AFB12B19 apresentam os menores índice de vazios e, portanto, maior massa unitária. Isto é justificado pela maior diferença de diâmetro de partículas presente numa composição, que causa maior empacotamento dos grãos [16, 22]. Na Figura 1, nota-se que a diminuição de agregados retidos entre as peneiras de 1,2 mm a 4,75 mm, leva a uma descontinuidade, (AFB12B19). A composição AFAMB12B19, com distribuição contínua, apresentar melhor distribuição granulométrica, apesar de não apresentar o menor índice de vazios.

2.2. Composição e autoadensabilidade do CAA

Os concretos autoadensáveis com 40% de volume de pasta e diferentes composições de agregados (B, T e Q) foram obtidos de estudo prévio [21]. Destes CAAs, baseado nos melhores desempenhos das propriedades de autoadensabilidade (capacidade de preenchimento, capacidade de passar entre obstáculos e estabilidade) [3], foram selecionados alguns para o estudo da redução do volume de pasta de 38 % a 33 %. Cada CAA com o novo teor de pasta foi também avaliado quanto às propriedades de autoadensabilidade e resistência à compressão aos 28 dias. Os métodos de ensaios utilizados para obter e avaliar as propriedades de autoadensabilidade, foram: ensaio de espalhamento (*Slump Flow Test*), Funil V (*V-Funnel*) e o ensaio de caixa L (*L-Box*).

2.3. Avaliação do CAA pelo modelo de empacotamento de Alfred

Através do programa EMMA (*Elkem Material Mix Analyser*), que tem como base o modelo de empacotamento de partículas denominado modelo de Alfred (ou modelo A&A Modificado) [19], obteve-se para os CAAs, com teor de pasta de 40%, as curvas experimentais que melhor se ajustam aos valores do módulo de distribuição “q”, aplicados para geração das curvas teóricas de empacotamento. Tratando-se de CAA, o “q” pode variar de $0,21 \leq q \leq 0,28$ [13, 17].

A determinação do “q” foi realizada através de um estudo estatístico da correlação das curvas de distribuição granulométrica das composições experimentais e teóricas de A&A, utilizando-se o software *Statistica*, com a qual foi possível aplicar o Coeficiente de Correlação Linear (ou Coeficiente de Pearson - r), considerando-se a normalidade dos dados. Assim, as curvas das composições ajustadas foram avaliadas quanto à aproximação ao coeficiente “r”, indicando um valor de “q” do modelo de empacotamento.

No modelo de Alfred é considerado tanto o diâmetro da menor partícula (D_S) quanto o diâmetro da maior partícula (D_L) de uma distribuição. Assim, introduzindo os tamanhos das partículas na equação desse modelo de empacotamento, a análise das composições de agregados é feita com combinações distintas, separando àquelas que possuem B12, como menor diâmetro, daquelas que contêm B19, devido a influência de D_S e D_L no módulo q.

3.- RESULTADOS E DISCUSSÕES

Formulado o CAA, com diferentes composições de agregados (Tabela 1) e mesma composição de pasta, verifica-se que as distintas composições B, T e Q, refletem nas diferenças significativas dos parâmetros de autoadensabilidade para CAA, conforme apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Concreto autoadensável com diferentes composições de agregados e 40 % de teor de pasta

Composição de agregados para CAA (kg/m ³)									
Materiais (kg/m ³)	Binárias				Ternárias			Quaternária	
	AFB12	AFB19	AMB12	AMB19	AFAMB12	AFAMB19	AFB12B19	AMB12B19	AFAMB12B19
Cimento					398,5				
f*/c = 0,50					199,0				
a/c = 0,50					199,0				
Superplast					10,6				
AF	720,8	714,8	-	-	368,0	365,0	717,5	-	350,7
AM	-	-	801,0	716,0	432,0	429,0	-	640,0	446,0
B12	881,0	-	801,0	-	800,0	-	398,6	431,7	350,7
B19	-	873,7	-	875,0	-	794,0	478,0	527,6	446,0
Método	Parâmetros de autoadensabilidade NBR 15823:2010								
Slump Flow	685,0	775,0	740,0	790,0	750,0	815,0	790,0	785,0	765,0
Funil V (s)	22	16	12	6	6	4	4	6	6
Caixa L	Bloq	0,8	1	Bloq	1	1	1	Bloq	1

*f = fillers – Resíduo de blocos de mármore e granito (RBMG); Total** = Total de agregados.

Observa-se, na Tabela 2, que dentre os concretos com composição binária, o CAA com AMB12 foi o que melhor atendeu as propriedades de autoadensabilidade, sendo característica deste a distribuição contínua de agregados (Figura 1), uma baixa razão $D_L/D_S = 5,02$, relação B12/AM igual a 50 %, e o menor volume de agregado graúdo (30 %), características que beneficiam a obtenção de CAA [18, 20]. Os CAAs com composições ternárias atenderam a autoadensabilidade, com exceção da AMB12B19, que não alcançou a propriedade de habilidade de passar entre as armaduras, podendo ter sido influenciado pelo maior volume de agregado graúdo (36 %), desfavorecendo a obtenção de CAA [21]. Destaca-se o CAA com AFAMB19 pelo melhor atendimento a autoadensabilidade. O CAA com a AFAMB12B19 também atendeu aos parâmetros. Constata-se que o ensaio da caixa L (ou L-Box) foi determinante na verificação da autoadensabilidade. As curvas resultantes do modelo teórico de empacotamento de Alfred, juntamente com as curvas de distribuição acumulada de partículas, para cada CAA, estão contidas na Figura 2. As setas indicam o sentido do aumento do valor de q, que se dá de cima para baixo.

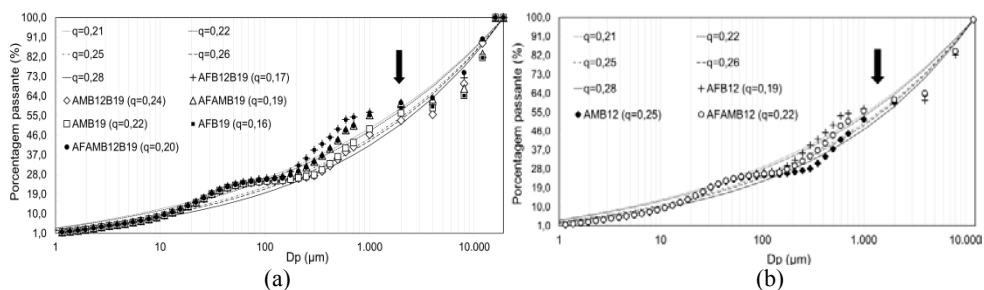


Figura 2. Curvas de empacotamento teórica e experimental dos concretos (a) AFB19, AMB19, AFB12B19, AMB12B19, AFAMB19, AFAMB12B19; (b) AFB12, AMB12, AFAMB12

Observa-se que as curvas experimentais contendo AF apresentam valores de “q” menores que as demais curvas, $0,16 \leq q \leq 0,22$, por se aproximarem das curvas teóricas com “q” menores, devido a predominância dos agregados miúdos. As curvas com predominância de agregados mais grossos tenderam a se aproximar das curvas teóricas com “q” maiores. Portanto, pelo modelo de A&A modificado, quanto mais finos contiver numa composição, menor será o módulo de empacotamento e mais fluida a mistura [12, 22]. Verifica-se que dos CAAs obtidos, apenas AMB12 ($q=0,25$), AMB19 ($q=0,22$) e AFAMB12 ($q=0,22$) atenderam aos parâmetros de autoadensabilidade e apresentaram valores de “q” indicados para CAA. Já AFAMB19 ($q=0,19$) e AFAMB12B19 ($q=0,20$) tiveram $q < 0,21$, apesar do atendimento aos parâmetros. O CAA com AMB12B19 obteve $q = 0,24$, mas apresentou bloqueio. Concluiu-se que nem sempre foi possível enquadrar os CAAs no estudo aos “q” indicados na literatura.

Para a avaliação de CAA variando o volume de pasta de 38 % a 33 %, as composições AMB12, AFAMB19 e AFAMB12B19 foram selecionadas, Tabela 3. Estes denominados de CB38, CT38 e CQ38, considerando-se C de concreto; B, T e Q ao tipo de composição de agregados e o número 38 ao volume de pasta (este muda de acordo com o volume utilizado). O CQ33 só foi possível obter alguma autoadensabilidade com a composição quaternária.

Tabela 3: Concreto autoadensável com diferentes composições de agregados e teores de pasta

Materiais (kg/m ³)	Teor de pasta (%)									
	40		38		35		33			
Cimento	398,0		378,0		348,0		328,0			
f/c = 0,50	199,0		189,0		174,0		164,0			
Total de Finos	597,0		567,0		522,0		492,0			
a/c = 0,50	199,0		189,0		174,0		164,0			
Aditivo sp	10,6		10,1		9,3		8,7			
Composição	B	T	Q	B	T	Q	B	T	Q	Q
AF	-	365,0	350,7	-	377,6	362	-	395,8	380,0	391,6
AM	801,0	429,0	446,0	827,7	443,0	461	867,8	464,7	483,5	498,0
B12	801,0	-	350,7	827,7	-	362	867,8	-	380,0	391,6
B19	-	794,0	446,0	-	820,8	461	-	860,5	483,5	498,0
Total Agregados	1602	1588,0	1594,0	1655,0	1641	1646	1735,6	1721	1726,8	1780

Observa-se, na Tabela 3, que a quantidade de agregados aumenta à medida que diminui o teor de pasta e, conseqüentemente, o de finos (fíller e cimento), o que leva a uma menor dosagem do superplastificante (sp), comprovando que a dosagem deste é influenciada pelo teor de finos e que a ação conjunta favorece a obtenção de autoadensabilidade [3, 23].

Os resultados do ensaio de autoadensabilidade e da resistência à compressão do CAA com as composições “B”, “T” e “Q” são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados dos ensaios de CAA com diferentes composições e volumes de pasta

CAA	Teste/ Parâmetro (Unidade)			
	Espalhamento (mm)	Funil-V (s)	Caixa L H_2/H_1 (m/m)	f_{cm} (28 dias) (MPa)
CQ33	700	202	Bloqueio	30,0
CB35	625	50	Bloqueio	30,0
CT35	750	13	Bloqueio	37,7
CQ35	795	18	1,0	42,5
CB38	665	17	0,7 (Bloqueio)	31,4
CT38	750	16	0,8	39,2
CQ38	720	12	1,0	45,6
CB40	685	22	0,8	39,6
CT40	750	6,5	1,0	47,0
CQ40	765	6,0	1,0	51,9

Verifica-se, na Tabela 4, para a mesma composição de pasta, que o volume de pasta necessário para garantir as características de autoadensabilidade ao CAA depende da composição de agregados e que pode haver um volume de pasta ideal para cada composição de agregado. Para obtenção de CAA com composição quaternária, menor teor de pasta de 35 %, com composição ternária, 38 %, e binária, 40 %. Os resultados mostram que o ensaio na caixa L mostrou-se mais rigoroso na determinação de quais composições alcançaram a autoadensabilidade.

Quanto a resistência à compressão, conclui-se que esta foi influenciada tanto pelo volume de pasta, sendo maior com o aumento do teor de pasta, quanto pela composição de agregados, sendo maior com o maior número de combinações de composições de agregados.

As Figuras 3 e 4 mostram os aspectos do CAA com as composições quaternária e binária, respectivamente, para cada volume de pasta, no ensaio de espalhamento (*Slump Flow Test*).

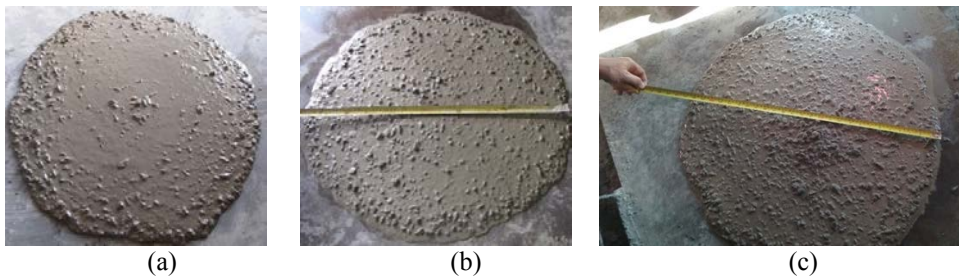


Figura 3. Ensaio de espalhamento: a) CQ40, b) CQ38 e c) CQ33

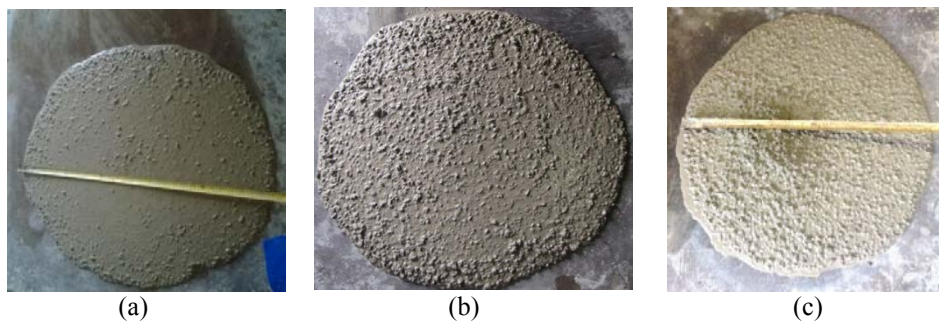


Figura 4. Ensaio de espalhamento: a) CB40, b) CB38 e c) CB35

Observa-se na Figura 3a, que o CQ40 apresenta um excesso de pasta e que, na Figura 3c e 4c, tanto o CQ33 quanto o CB35 mostram que há uma falta de pasta que garanta o envolvimento de todos os agregados, fazendo com que parte dos agregados permaneçam concentrados no centro, fato que levou ao bloqueio do concreto.

4.- CONCLUSÃO

Em face dos resultados e discussões apresentadas, conclui-se que:

- o comportamento dos concretos autoadensáveis, no estado fresco, com os teores de pasta de 35 %, 38 % e 40 %, apresentou-se adequado nos ensaios de espalhamento, de forma geral, obtendo-se desempenhos diferenciados e classificatórios quanto a autoadensabilidade, nos ensaios de Funil V e Caixa L; a redução do volume de pasta para 38 % e 35 % nas composições AMB12, AFAMB19 e AFAMB12B19 comprovou que pode ocorrer da pasta não atender a todas as composições de agregados, devido a influência da granulometria das composições de agregados na determinação do teor de pasta, o que afetou consideravelmente as duas primeiras, destacando-se apenas a composição quaternária, CQ35, com comportamento autoadensável no estado fresco. Esta composição mostrou suas propriedades de autoadensabilidade significativamente afetadas, quando se reduziu o teor de pasta para 33% (CQ33).

- quanto a aplicação do modelo de empacotamento de partículas, através da avaliação do ajuste das curvas teóricas do modelo de Alfred, com diferentes módulos de distribuição aplicados em CAA, com as curvas experimentais das nove composições, constatou-se que aqueles concretos que apresentaram menores valores de q (abaixo de 0,21), apresentaram-se fluidos (AFB19, CAFB12, CAFB12B19), enquanto os que atenderam a autoadensabilidade, obtiveram ajustes com valores de q entre 0,20 e 0,25.

- a dosagem de CAA com composições binárias, ternárias e quaternárias, reduzindo o teor de pasta de 40 % para 38 %, 35 % e 33 % (no caso da quaternária), permitiu verificar que o ensaio de bloqueio na caixa L foi o mais determinante na avaliação das propriedades de autoadensabilidade.

- o comportamento no estado endurecido dos concretos autoadensáveis, com maior número de combinações de agregados e com maior volume de pasta, favoreceu a obtenção

de melhores resultados de resistência à compressão dos concretos, destacando-se, nesse caso, a composição quaternária. Isso também pode ser visto nas composições binárias e ternárias quando alcançam um limite de volume de pasta.

AGRADECIMIENTOS

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudo. À FAPEAL - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas pelo apoio e incentivo ao desenvolvimento de pesquisa científica. Aos projetos Universal e PROCAD/Casadinho. Ao grupo MECOEFICON/UFAL.

REFERÊNCIAS

- [1] Okamura, H.; Ouchi, M., Self-compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, **1** (1) (2003) 5-15.
- [2] Billberg, P. Self-Compacting Concrete for Civil Engineering Structures – The Swedish Experience. In: S.C.C.R.1., Estocolmo (1999) 1-77.
- [3] Gomes, P. C. C., Optimization and Characterization of High-Strength Self-Compacting Concrete, Tese (Doutorado em Engenharia de Construção), Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, Barcelona, 2002, 181f.
- [4] De Larrard, F. Concrete Optimisation with regard to packing density and rheology. 3rd RILEM International Symposium on rheology of cement suspension such as fresh concrete, France, 2009, 8f.
- [5] Tutikian, B., Pacheco M., Concreto autoadensável (CAA): comparativo entre métodos de dosagem. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, **5** (4) (2012) 500-29.
- [6] Khayat, K. H., Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating.” *ACI. Materials Journal*, **94** (4) (1999) 346-353.
- [7] Koehler, E. P.; Fowler, D. W., Aggregates in Self-Consolidating Concrete. Research report ICAR, University of Texas, Austin, 2007.
- [8] Ashraf, W. B.; Noor, M. A. Performance-evaluation of concrete properties for different combined aggregate gradation approaches. *Procedia Engineering* (**14**) (2011): 2627-2634.
- [9] Neville, A. M.; Brooks, J. J., *Tecnologia do Concreto*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013, 448f.
- [10] Mehta, K. P.; Monteiro, J. M. P. *Concreto. Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2^a. ed. IBRACON, 2008.

- [11] Melo, K. A., Contribuição à Dosagem de Concreto Auto-adensável com Adição de Fíler Calcário. Florianópolis/SC: Dissertação de mestrado - UFSC, 2005, 168f.
- [12] Pilleggi, R. G., Ferramentas para o estudo e desenvolvimento de concretos refratários. Tese de doutorado, Universidade Federal de São Carlos. São Carlo-SP. 2001. 197p.
- [13] Brouwers, H. J. H.; Radix, H.J., Self-compacting concrete: the role of the particle size distribution. First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete, May, 35 (2005) 109-118.
- [14] Castro, A. L. de; Liborio, J. B. L.; Pandolfelli, V. C.; Desempenho de concretos avançados para a construção civil, formulados a partir do método de dosagem computacional. *Cerâmica*, **55** (2009) 233-251.
- [15] ELKEM EMMA mixture analyser. Disponível em: <<http://www.elkem.com/en/Silicon-materials/Support/Software-EMMA>> Acessado em: Agosto de 2017.
- [16] Damineli, B. L., Conceitos para formulação de concretos com baixo consumo de ligantes: concretos reológico, empacotamento e dispersão de partículas. Tese de doutorado. Escola politécnica da universidade de São Paulo-SP, 2013.
- [17] Goltermann, P.; Johansen, V.; Palbol, L. Packing of Aggregates: An Alternative Tool to Determine the Optimal Aggregate Mix. *ACI Materials Journal*, September, October, **94** (5) 1997, 435 - 443.
- [18] Gomes, P. C. C., Barros, A. R. de. Métodos de dosagem de concreto autoadensável. Pini. São Paulo. 2009.
- [19] Ortega, F. S.; Pileggi, R. G., Sepúlveda, P., Pandolfelli, V. C. Influência dos modelos de Alfred e de Andreasen sobre a microestrutura e densidade a verde de compactos cerâmicos obtidos por colagem ou prensagem. *Jornal Cerâmica*, (**43**) (1997) 183-189.
- [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15823-1: Concreto auto-adensável – Parte1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco. Brasil, 2010.
- [21] Monteiro, R. dos S., Gomes, P. C. C.; Moraes, K. A. M., Composições de agregados para obtenção de concreto autoadensável. IV Congresso Ibero Americano sobre Betão Auto-Compactável – BAC2015, julho, (2015) 205-214.
- [22] Oliveira, I. R.; Studart, A. R.; Pileggi, R. G.; Pandolfelli, V. C. Dispersão e Empacotamento de Partículas: Princípios e Aplicações em Processamento Cerâmico. São Paulo, Fazenda Arte Editorial, 2000. 224f.
- [23] Rico, J. R., Effect of superplasticizers on the behavior of concrete in the fresh and hardened states: implications for high performance concretes, Tese (Doutorado), Universitat Politècnica de Catalunya, UPC, Barcelona, 2000.