

ESTUDO DE PARÂMETROS GRANULARES E CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE COMPOSIÇÕES DE AGREGADOS PARA CONCRETO AUTOADENSÁVEL

DIANA MARIA PEREIRA CAIRES¹, KARLA KAMILA BARROS PINHEIRO², FRANCINE KAROLINE DOS SANTOS OLIVEIRA³ e CÁSSIA VANESSA ALBUQUERQUE DE MELO⁴

¹Graduanda. em Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Maceió-Al, dianampcaires@gmail.com

²Graduanda. em Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Maceió-Al, karlakamilap@gmail.com

³Graduanda. em Engenharia Civil, CTEC, UFAL, Maceió-Al, fran.karoline@hotmail.com

⁴Dr^a Prof^a Adjunto I, UFAL, Maceió-Al, cassiamelo@ctec.ufal.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: O desempenho do concreto autoadensável está relacionado à distribuição granulométrica e com a qualidade dos agregados, podendo influenciar consideravelmente as suas propriedades. Este trabalho buscou obter e analisar as distribuições granulométricas de distintas composições de agregados para concreto autoadensável a partir de simulações numéricas de diferentes curvas granulométricas. Para isso, foi imprescindível tomar como base o entendimento de composições de agregados obtidas da literatura, a fim de estudar e estabelecer parâmetros de graduação, tais como as porcentagens de agregados (miúdo e graúdo), predominância de diâmetros de partículas e tipo de distribuição granulométrica contínua (aberta) e descontínua (fechada). Foram utilizadas composições de agregados obtidas da literatura como referência, para auxiliar na simulação e análise em planilhas do Excel, utilizando-se da caracterização de agregados encontrados no Estado de Alagoas. Os resultados demonstraram que ocorreu predominância das frações granulométricas abaixo de #1,18 mm e acima de #6,3 mm, a aproximação dos diâmetros de partículas, tornando as distribuições descontínuas, entretanto a redução de frações mais grossas e a inserção de frações miúdas entre #1,18 e 4,75 mm, contribuiu para a continuidade das distribuições.

PALAVRAS-CHAVES: empacotamento de agregados, frações granulométricas, parâmetros.

STUDY OF GRANULARES PARAMETERS AND GRANULOMETRIC CURVES OF AGGREGATE COMPOSITIONS FOR SELF-COMPACTING CONCRETE

ABSTRACT: The performance of self-compacting concrete is related to the particle size distribution and the quality of the aggregates, which can considerably influence its properties. This work sought to obtain and analyze the granulometric distributions of different compositions of aggregates for self-compacting concrete from numerical simulations of different granulometric curves. To that, it was essential to take as a basis the understanding of aggregate compositions obtained from the literature, in order to study and establish gradation parameters, such as the percentages of aggregates (fine and coarse), predominance of particle diameters and type of continuous (open) and discontinuous (closed) particle size distribution. Aggregate compositions obtained from the literature were used as a reference, to assist in the simulation and analysis in Excel spreadsheets, using the characterization of aggregates found in the State of Alagoas. The results showed that there was a predominance of granulometric fractions below #1.18 mm and above #6,3mm, the approximation of particle diameters, making the distributions discontinuous, however, the reduction of coarser fractions and the insertion of finer fractions between #1.18 and 4.75 mm, contributed to the continuity of distributions.

KEYWORDS: Aggregate packing, Granulometric fraction, Parameters.

INTRODUÇÃO

Estudos encontrados na literatura apresentam indicativos do comportamento dos concretos autoadensáveis (CAA), frente a alguns parâmetros de graduação de agregados, como índice de vazios, massa unitária e porcentagem de agregado graúdo. Vale destacar a influência de frações menores (entre #150 μm e 1,18 mm) e grossas (#6,3 e 9,5 mm) dos esqueletos granulares nas composições de Farokhzad *et al.* (2016), Nanthagopalan & Santhanam (2012), Monteiro *et al.* (2015) e Melo (2005), podendo ver mais detalhes no estudo de Melo (2019). De forma geral, as curvas das composições apresentadas pelos diferentes autores também apresentaram tendências a descontinuidades em frações intermediárias.

O CAA trata-se de um material que demanda um processo de fabricação bastante rigoroso, uma vez que seus benefícios só serão garantidos caso a sua dosagem seja feita de maneira correta. Dessa forma, vários estudos foram realizados ao longo dos anos, com o intuito de obter uma composição ideal de materiais que garantisse o bom desempenho das propriedades dos concretos autoadensáveis.

Nesse sentido, o empacotamento de partículas é fundamental na dosagem e na estabilidade do concreto. O parâmetro densidade de empacotamento, comumente entendido na literatura como *packing density*, em inglês, é um parâmetro físico representativo de misturas granulares, combinando o tamanho e a morfologia dos grãos BALA *et al.* (2018). Ademais, o empacotamento de partículas tem como benefício o aumento na densidade da matriz do material, dando a este uma maior trabalhabilidade, boa resistência mecânica e maior durabilidade das estruturas Castro & Ferreira (2016). Com isso, misturas de concreto com altas densidades de empacotamento possuem tendência a redução do material necessário para o preenchimento com produtos de hidratação de cimento Lopes (2019). O' Reilly Diaz (1998) também propôs um método de dosagem de concretos que busca a maior compacidade da mistura, ou seja, a menor porcentagem de vazios, aumentando o contato entre os grãos.

O objetivo deste artigo é demonstrar como composições granulares distintas podem ser obtidas com os mesmos materiais granulares, agregado miúdo e graúdo, obtendo-se diferentes distribuições contínuas e descontínuas, buscando também identificar os parâmetros de graduação de agregados mais adequados para formulação de concreto autoadensável.

MATERIAL E MÉTODOS

O artigo de caráter científico consiste de uma pesquisa exploratória e experimental, promovendo o emprego do método da massa unitária, proposto por O' Reilly Díaz (1998), para obtenção de composições de agregados para concreto. No presente estudo, distintas curvas granulométricas de agregados miúdos e graúdos foram analisadas para concreto autoadensável (CAA). Os parâmetros de graduação de agregados propostos por Melo (2019), como porcentagem de agregado graúdo (PAG), índice de vazios (I_v), massa unitária (kg/m^3), tipo de distribuição granulométrica (contínua - C e descontínua - D), predominância de diâmetros de partículas (PDP) e coeficiente de uniformidade (CU), foram analisados.

Neste trabalho, a base principal de dados é a composição granulométrica dos agregados caracterizados no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA). Elaborou-se uma revisão bibliográfica para o entendimento dos parâmetros utilizados para a formulação de composições de CAA.

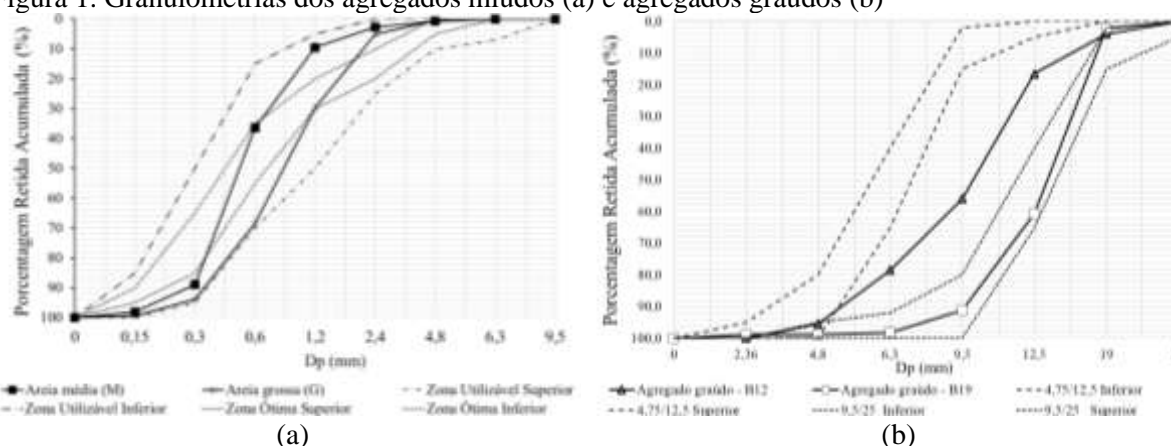
Para elaboração e análise dessas composições, foi utilizado o *software Excel* na construção de planilhas.

Os agregados selecionados foram duas areias quartzosas de origem fluvial, média (M) e grossa (G), com diâmetro máximo de 2,4 e 4,8 mm, respectivamente, e dois agregados graúdos de origem granítica, com dimensões máximas de 12,5 mm e 19,0 mm, codificados como B12 e B19, respectivamente, neste estudo. O módulo de finura dos agregados miúdos de granulometria média e grossa foram: 2,20 e 2,96, respectivamente; enquanto que, para os agregados graúdos foram iguais a 6,91 e 5,92, respectivamente.

A amostragem é uma etapa fundamental a ser realizada previamente. Para isso, utilizou-se a norma NBR 16915 ABNT (2021) que trata do processo de amostragem de agregados. Na caracterização desses materiais, seguiu-se as recomendações da NBR 7211 ABNT (2009). As determinações das massas específicas dos agregados miúdos e graúdos foram realizadas segundo as recomendações da

NBR 16916 ABNT (2021) e NBR 16917 ABNT (2021), respectivamente. As massas específicas secas desses materiais foram, respectivamente: 2,57 e 2,58 g/cm³ dos agregados miúdos “M” e “G”, e dos agregados graúdos “B12” e “B19” foram 2,73 e 2,67 g/cm³, respectivamente. A determinação da quantidade de material mais fino que a abertura de malha de peneira de 75 µm, foi realizada segundo a NBR NM 46 ABNT (2003), cujos valores foram 0,4 e 2,0 % para os agregados miúdos “M” e “G”, respectivamente, e 2,41 e 0,85% para os agregados graúdos “B12” e “B19”, respectivamente. Para a realização do peneiramento, seguiu-se a NBR NM 248 ABNT (2003) e as recomendações da NBR 7211 ABNT (2009), utilizando-se as 10 peneiras da série normal, ou seja, diâmetros nominais de partículas (Dp) # 0,15; 0,30; 0,60; 1,18; 2,36; 4,75; 6,3; 9,5; 12,5; 19,0 mm. Partículas menores que 150 µm foram consideradas como finos. As porcentagens retidas individuais das frações granulométricas foram fundamentais para o estudo dos parâmetros de misturas dos agregados para CAA. A caracterização dos agregados miúdos e dos agregados graúdos são apresentadas nas Figuras 1 (a) e (b).

Figura 1. Granulometrias dos agregados miúdos (a) e agregados graúdos (b)



Fonte: Autoras (2021)

No estudo foram consideradas 9 (nove) composições. Portanto, vale ressaltar as seguintes considerações:

- A porcentagem do agregado graúdo (PAG), obtida pelo método de Diaz (1998) variou conforme a obtenção da maior massa unitária e menor índice de vazios, a fim de que possibilitasse a análise da variação das porcentagens retidas individuais de distintas curvas granulométricas de agregados;
- Primeiramente, foram analisadas as curvas granulométricas das composições binárias e, a seguir, foram formuladas as composições ternárias e uma quaternária, apresentando continuidades e descontinuidades. (Figura 1). Entre elas, foram as das combinações: MB12, GB12, MB19, GB19, MGB12, MGB19, MB12B19, GB12B19, MGB12B19; e
- Obteve-se a massa unitária das misturas dos agregados, no estado solto, pelo método C, conforme a NBR NM 45 ABNT (2006).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados das composições de agregados estudadas.

Tabela 1. Resultados dos parâmetros de graduação de agregados de composições de agregados

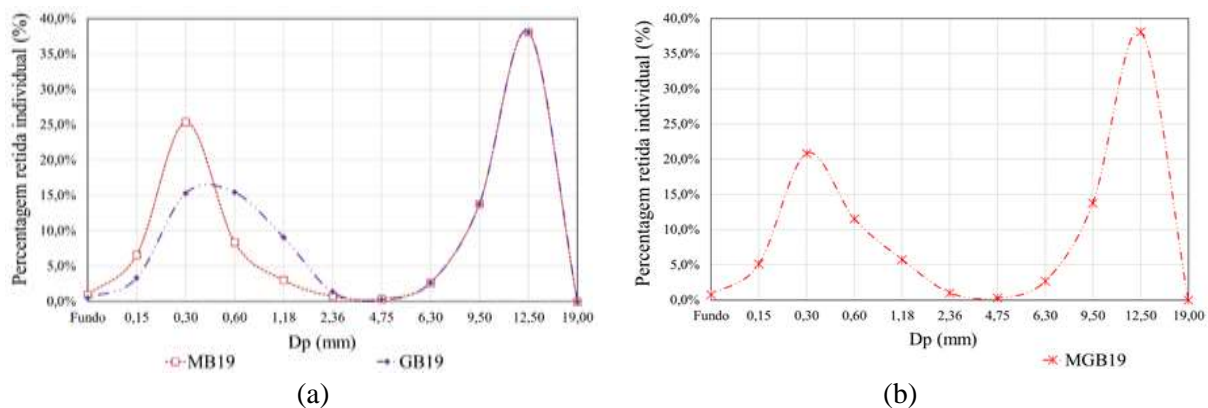
Combinações de agregados	Índice de vazios %	Massa unitária kg/m ³	Porcentagem de agregado graúdo %	Coefficiente de Uniformidade	Predominância de Diâmetro de Partículas
MB12	30,8	1836,6	50	17,9	21,1
MB19	26,8	1920,99	55	36,8	41,9
GB12	33,3	1774,3	55	14,2	14,0
GB19	28,4	1880,2	55	28,8	27,8
MGB12	31,7	1810,9	50	16,6	14,0

MGB19	26,4	1930,4	55	33,7	27,8
MB12B19	27,9	1904,4	60	25,2	31,6
GB12B19	30,1	1850,0	55	18,9	21,0
MGB12B19	28,9	1873,2	50	20,9	21,0

Fonte: Autoras (2021)

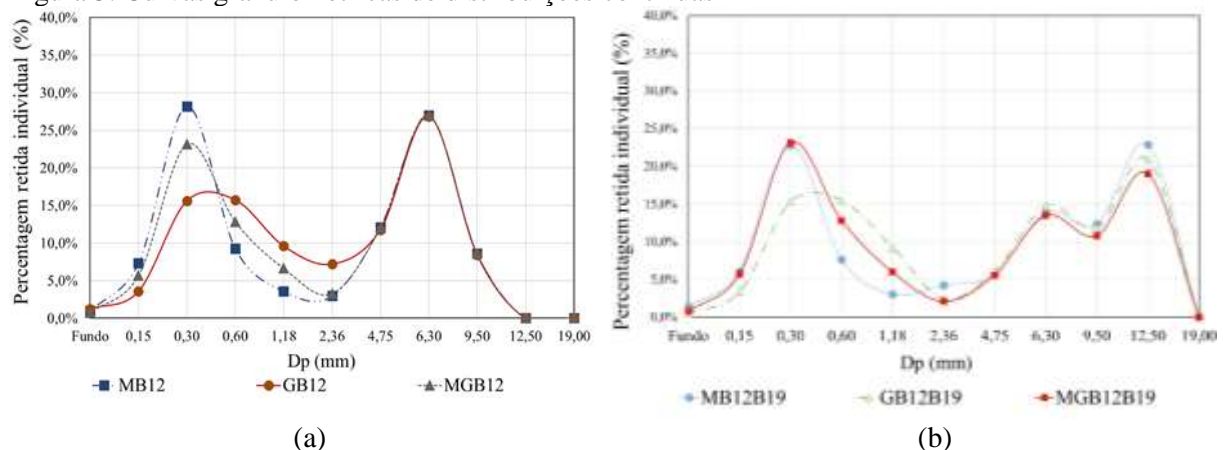
Pelos resultados obtidos, as Figuras 2 e 3 apresentam as curvas granulométricas das composições de agregados estudadas.

Figura 2. Curvas granulométricas de distribuições descontínuas: (a) MB19 e (b) GB19



Analisando-se as Figuras 2 (a) e (b), notou-se que as composições binárias MB19, GB19 e ternária MGB19 apresentaram descontinuidade nas frações # 2,36 e 4,75mm, uma vez que apresentaram porcentagens retidas desprezíveis, quando comparadas a outras frações. Além disso, apresentaram picos nas frações # 0,3 e #12,5mm, constatando distribuições mais abertas. Ademais, as composições em questão apresentaram índices de vazios iguais a 26,8% para a MB19, 28,4% para a GB19 e 26,4% para a MGB19, enquanto que a porcentagem de agregados graúdos foi de 55% para as três composições. Estas foram as únicas que apresentaram menores percentuais de índice de vazios e, conseqüentemente, maiores massas unitárias.

Figura 3. Curvas granulométricas de distribuições contínuas



Na Figura 3 (a), notou-se que as composições binárias MB12, GB12 e ternária MGB12 apresentaram partículas de todos os diâmetros intermediários, assim se caracterizando distribuições contínuas e, assim, com concavidade fechada. Ademais, as composições em questão apresentaram índices de vazios igual a 30,8% para a MB12, 33,3% para a GB12 e 31,7% para a MGB12, enquanto que a porcentagem de agregados graúdos foi de 55% para a GB12 e 50% para as outras duas.

Ao observar as Figuras 3 (b), percebeu-se que as ternárias MB12B19, GB12B19 e a quaternária MGB12B19 também apresentaram partículas de todos os diâmetros intermediários, assim se caracterizando composições contínuas. Além disso, tais composições apresentaram índice de vazios

iguais a 27,9%, 30,1% e 28,9%, respectivamente, ao passo que apresentaram 60%, 55% e 50%, em seu parâmetro de porcentagem de agregado graúdo.

Nestas nove composições estudadas constata-se que o estudo da proporção ótima entre os agregados graúdos e miúdos apresentados resultaram em proporções que variaram de 40 % a 60 % de agregado graúdo, alcançando um menor índice de vazios, entretanto tais proporções e a própria granulometria dos materiais, interferiram na predominância de algumas frações e dificultaram a obtenção da continuidade de algumas composições de agregados.

CONCLUSÃO

Com base nas composições de agregados estudadas, notou-se que os maiores valores do parâmetro de predominância de partículas estão associados às composições com os maiores valores de porcentagem de agregado graúdo, corroborando com o que se encontra na literatura. Ademais, ao analisar as curvas das distribuições, percebeu-se que as composições com maiores valores do parâmetro de predominância de partículas são aquelas que apresentam maiores distâncias entre picos. Assim, mostrou-se ser inevitável a ocorrência da predominância de partículas graúdas quando se eleva o PAG. Essa característica, de acordo com estudos, influencia negativamente na estabilidade e, conseqüentemente, na ocorrência de segregação dos concretos. Dessa forma, tais composições possuem tendência a não satisfazer os critérios exigidos para produção de concretos autoadensáveis.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Universidade Federal de Alagoas (UFAL), ao Programa de Iniciação Científica (PIBIC), ao Laboratório de Estruturas e Materiais (LEMA) e ao Grupo de Materiais Ecoeficientes para Construção Civil (MECOEFICON) pelas oportunidades e suportes necessários para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para Concreto - Especificação, Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água, Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16917: Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água, Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μm , por lavagem, Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16915: Agregados - Amostragem, Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 45 Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios, Rio de Janeiro, 2006.
- Bala, Mokrane; Zentar, Rachid; Boustingorry, Pascal. Parameter analysis of the compressible packing model for concrete application. Proc. of the 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic, 2018.
- Castro, A; Ferreira, F. Effect of particle packing in the durability of high performance onretes. Ingeniería de Construcción, v.31, n.2, p. 91-104, 2016.
- Díaz, V. O. Método de dosagem de concreto de elevado desempenho. São Paulo: Pini, 1998.
- Farokhzad *et al.* Representing a logical grading zone for self-consolidating concrete. Revista Elsevier, 2016.
- Lopes, H. M. T. L. Aplicação do conceito de empacotamento de partículas na otimização de dosagem de concretos de cimento Portland. 2019. 21 f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, 2019.
- Melo, C. V. A. Avaliação e determinação de parâmetros para otimização de esqueleto granular em atendimento à autoadensabilidade de concretos. Tese (Doutorado em Materiais), Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, 2019.

Melo, K. A. de. Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

Monteiro R.; Gomes, P.C.C.; Melo, K.A. Composições de agregados para obtenção de concreto autoadensável. *IV Congresso Ibero Americano sobre Betão Auto-Compactável – BAC2015*, 2015, 205–214.