

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO QUARTZOSO POR AGREGADO MIÚDO DE BRITAGEM DE ROCHA BASÁLTICA EM CONCRETO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081147

WALKER; WESLEY RAMON[1]; MEINHART; ALICE HELENA[1]; ARNOLD; DAIANA CRISTINA METZ[1]; DIAS; LETÍCIA ANDRIOLLI[1]
[1]UNIVERSIDADE FEEVALE
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: ALICEHMEI@GMAIL.COM

RESUMO: Analisou-se os efeitos da substituição do agregado miúdo natural (AMN) pelo agregado miúdo de britagem (AMB). Definiu-se um traço referência e substituições de 25% e 50% do AMN pelo AMB, mantendo relação água/cimento fixa. Nos resultados, o traço 50/50 obteve elevação de 1,56% e 34,66% da resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral, respectivamente, aos 28 dias, em relação a amostra sem substituição. Sendo assim, a amostra 50/50 mostrou-se mais promissora quanto a análises de compressão.

PALAVRAS-CHAVES: Agregado miúdo natural; agregado miúdo de britagem; concreto.

ABSTRACT: The effects of replacing the fine natural aggregate (FNA) by the fine crushed aggregate (FCA) were analyzed. A reference mix and 25% and 50% substitutions of FNA by FCA were defined, maintaining a fixed water/cement ratio. In the results, the 50/50 mix obtained an increase of in 1.56% and 34.66% in the resistance to axial compression and traction by diametral compression, respectively, at 28 days, in relation to reference mix. Thus, the 50/50 sample proved to be more promising compared to the others regarding compression analyses.

KEYWORDS: Natural fine aggregate; fine crushed aggregate; concrete.

1 | INTRODUÇÃO

A extração de agregado miúdo natural (AMN) é feita através de dragas dispostas nos leitos dos rios que fazem a retirada do AMN do fundo das águas, causando morte de espécies aquáticas e microrganismos do ambiente, além de erosão das margens dos rios e a modificação de seu curso natural[(1)]. Já o agregado miúdo britado basáltico (AMB) é um material obtido a partir do processo de cominuição de rochas, comumente chamado de areia de britagem (AB), constituída por grãos passantes na peneira com abertura de malha de 4,75 mm e retidos na peneira de abertura de malha 150 µm[(2)], e surge como alternativa analisada por pesquisadores como substituição do AMN em concretos [(3,4,5)].

Santos *et al.*[(5)] ao realizarem substituições de 25%, 50% e 75% do AMN pelo AMB, observaram a resistência à compressão aos 28 dias de 24,14 MPa, 21,03 MPa e 20,6 MPa, respectivamente. Os autores atrelam a diminuição da resistência à elevação do teor água/cimento (a/c), já que este foi alterado conforme acrescido o teor de AMB, e também ao aumento da superfície específica do AMB e da forma do grão, que por ser lamelar, dificultaria

a coesão da mistura. Já Araújo *et al.*[3] ao estudarem a substituição do AMN pelo AMB em concretos de alta resistência, adicionaram metacaulim à mistura, para preencher os vazios e aprimorar o empacotamento dos grãos do traço. Os autores realizaram a substituição do AMN em 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% e constataram aumento de 22,25% na resistência à compressão para o traço com 15% de substituição, quando comparado com o traço sem substituição, porém, também foi evidenciado diminuição na resistência a partir desse teor, chegando a 19,97% para o traço com 30% de substituição.

Para a mesma relação a/c de 0,50, Hammes *et al.*[4] realizaram a substituição de 35% do AMN pelo AMB de rocha basáltica, obtendo abatimento de 90 mm e 52,66 MPa de resistência à compressão aos 28 dias. Os autores relatam que conforme elevou-se o teor de substituição, foi necessária maior quantidade de água na mistura para manter a trabalhabilidade e, em conclusão, sugerem o uso de aditivos e associam o aumento da demanda de água à forma dos grãos e ao alto teor de finos do AMB, já que este absorve água da mistura, concordando com Araújo *et al.*[3]. Contudo, a partir da incorporação do AMB, a mistura fica mais densa e coesa, propiciando diminuição dos índices de vazios devido ao alto teor de finos, chegando a um abatimento de 84 mm com 25% de substituição do AMB e 115 mm para amostra sem AMB[4].

Após revisão bibliográfica, elaborou-se o programa experimental para analisar a influência da substituição do AMN pelo AMB de rocha basáltica sem prensença de filer basáltico. Para isso foi realizado o processo de empacotamento das partículas, além da reprodução de traços de concretos comerciais utilizados em uma concreteira situada na região do Vale do Sinos (RS).

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para reprodução dos traços de concreto, utilizados pela concreteira, mas reproduzidos neste estudo em escala laboratorial, utilizou-se cimento, agregado graúdo basáltico, agregado miúdo natural, agregado miúdo de britagem de rocha basáltica e aditivo superplastificante. Todos os materiais passaram pelo processo de caracterização no laboratório de técnicas construtivas da Universidade Feevale (LABTEC).

2.1 Caracterização dos materiais

O cimento utilizado na pesquisa foi o cimento Portland composto CP II – F40. A água utilizada para o amassamento apresentou pH 7,75, e o aditivo superplastificante à base de policarboxilato foi utilizado com objetivo de melhorar a trabalhabilidade dos traços, mantendo a relação a/c fixa. O AMN utilizado nos traços de concreto, foi obtido através da mistura de dois tipos de agregados miúdos: o agregado miúdo extraído dos leitos dos rios (AM Rio), que apresenta distribuição granulométrica com partículas de maiores dimensões e o agregado miúdo obtido de cavas no continente (AM Cavas), que apresenta uma distribuição granulométrica com dimensões de grãos menores, ambos sendo agregados quartzosos. Então, realizou-se o ensaio de empacotamento dos grãos, similar a executado por Gomes e Barros[6], onde avaliou-se a mistura com menor índice de vazios e maior densidade de massa. Como resultado, chegou-se em uma composição ideal de 82% de AM Rio e 18% de AM Cava. O AMB e o agregado graúdo (AG) foram obtidos através da britagem de rochas basálticas. Após secos em estufa (105°C ± 5°C), até constância de massa, foram realizados ensaios de composição granulometrica para

todos os agregados utilizados na pesquisa.

O agregado graúdo (AG) trata-se de uma composição entre o AG tipo 0 (com diâmetro máximo de grãos de 9,5 mm) e AG tipo 1 (com dimensão máxima de grãos de 19 mm), ambos derivados de rocha basáltica. A composição granulométrica dos agregados graúdos foi realizada a partir do empacotamento de grãos.

2.2 Métodos de ensaio

Para a produção do concreto, baseou-se no traço de fck = 30 MPa, utilizou-se o método de dosagem característico da concreteira em estudo, onde foi incorporado os princípios de empacotamento e compacidade dos grãos, seguindo a distribuição das curvas granulométricas, além da bombeabilidade da mistura, metodologia similar com o método apresentado por Gomes e Barros[6]. Para isso, estabeleceu-se duas composições, 75/25 (com 75% de AMN e 25% de AMB) e 50/50 (50% de AMN e 50% de AMB), além do traço de referência (REF) que contém somente AMN, conforme Tabela 1. Para cada ensaio foram utilizados 3 corpos de prova, onde a média aritmética destes foi empregada como valor de cálculo da amostra.

Traço	*Relação a/c*	*Cimento (kg)*	*AMN (kg)*	*AMB (kg)*	*AG (kg)*	*Água (kg)*	*Aditivo (g)*	*a/c*
REF	0,7	8,60	29,75	-	32,68	6,01	88,00	0,7
75/25	0,7	8,60	22,32	7,44	32,68	6,01	31,09	0,7
50/50	0,7	8,60	14,88	14,88	32,68	6,01	82,00	0,7

Tabela 1 – Composição dos traços

Fonte: autores (2021).

Para análise das propriedades dos concretos produzidos, no estado fresco, foi realizado o ensaio de slump. A cura foi feita em câmera umida com temperatura controlada de 23°C. Já no estado endurecido aos 7 e aos 28 dias de cura foram realizados os ensaios de resistência à compressão axial[7], em prensa com aplicação de carga de 2000 kN e velocidade constante de aplicação (0,45 MPa/s), e resistência à tração por compressão diametral[8], na mesma prensa, com carga aplicada de velocidade constante (0,05 MPa/s) até a ruptura. Por fim, o ensaio de absorção de água total foi executado conforme a NBR 9778:2009[9], onde mediram-se as massas dos CPs para determinação de absorção de água das amostras e o índice de vazios.

3 | RESULTADOS

Este tópico subdivide-se na análise da composição granulométrica dos agregados utilizados nos traços, além dos resultados dos ensaios em estado fresco e endurecido dos concretos produzidos. Quanto a densidade percebeu-se aumento de 2,3% e 5% das composições 75/25 (2,68 g/cm³) e 50/50 (2,75 g/cm³), respectivamente, em comparação a amostra contendo apenas AMN (2,62 g/cm³). Não obstante, foi realizado a distribuição granulométrica dos grãos, a fim de analisar a comparação do comportamento das curvas

de distribuição granulométrica de cada composição, conforme a Figura 1.

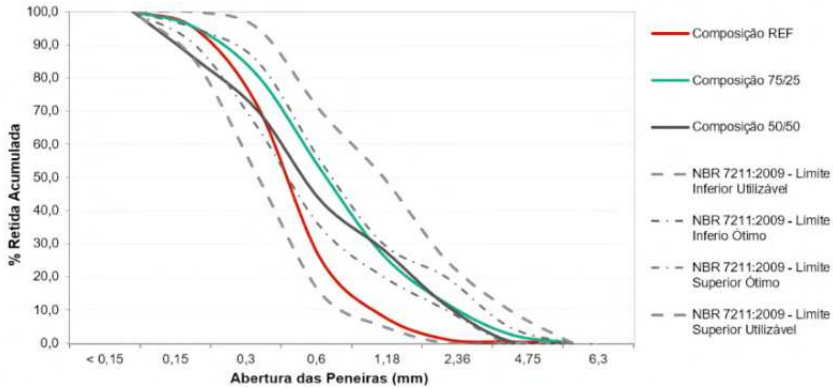

Figura 1 – Distribuição granulométrica das composições

Fonte: autores (2021).

Verificando a distribuição conforme a NBR 7211: 2009[10], nota-se que a composição REF tendencia ao limite inferior utilizável, enquanto a composição 50/50 apresentou comportamento introdutório dentro do limite utilizável partindo para o limite ótimo seguidamente. Já a composição 75/25 manteve-se dentro dos limites ótimos preconizados pela NBR 7211: 2009[10], sendo esta a composição que apresenta comportamento favorável ao melhor empacotamento das partículas e a melhor distribuição granulométrica para ser utilizada em concretos.

3.1 Ensaios no estado fresco do concreto

No ensaio de abatimento das amostras nota-se que a maior quantidade de aditivo empregada a mistura deu-se no traço REF, com 35,29% a mais de aditivo do que o traço 75/25, sendo este, o traço com menor incorporação de aditivo em comparação aos demais, demonstrando melhor trabalhabilidade do traço comparado aos demais, resultado contrário ao encontrado por Drago *et al.*[11], possivelmente devido a diferenças entre o aglomerante utilizado pelos autores com o da presente pesquisa, o qual incorpora fíler ao cimento Portland, melhorando a trabalhabilidade do concreto sem necessitar aumento de água. Araújo *et al.*[3] observaram redução de 38,26% no índice de consistência ao substituir 30% do AMB de rocha basáltica pelo AMN ao comparar com REF, e evidenciam que essa perda de trabalhabilidade pode ter relação com a absorção de água dos agregados.

3.2 Ensaios no estado endurecido do concreto

Ao ensaiar a densidade do concreto endurecido, aos 28 dias, obteve-se médias de 2,28 g/cm³, 2,30 g/cm³ e 2,32 g/cm³ para amostras REF, 75/25 e 50/50, respectivamente. A partir disso, observa-se aumento contínuo na densidade do concreto conforme aumenta-se o percentual de substituição. Quanto a absorção de água total e índice de

vazios, apresentam-se na Figura 2, os resultados médios das amostras e o desvio padrão.



Figura 2 – Absorção de água total e índice de vazio dos concretos analisados

Fonte: autores (2021).

Nota-se o aumento na absorção de água e índice de vazios quando o AMN é substituido pelo AMB, fato que pode ser explicado através da diferença no módulo de finura (MF) das composições: a composição REF possui o menor valor (MF=2,01), seguida pelas composições de 75/25 (MF=2,19) e 50/50 (MF=2,39), comprovando o evidenciado por Drago *et al.*[11], onde os autores obtiveram aumento de 27% na absorção de água quando realizado a substituição do agregado miúdo natural.

Quanto a análises de resistência, os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral[8] apresenta-se na Figura 3.



Figura 3 – Resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias

Fonte: autores (2021).

Verifica-se na Figura 3 aumento da resistência à tração conforme eleva-se a substituição do AMN pelo AMB, corroborando com estudos de Hammes *et al.*[4] e Santos *et al.*[5], mesmo estes tendo evidenciado diminuição da resitência à tração conforme eleva-se o teor de substituição do AMB acima de 50%. Essa diferença pode justificar-se através da forma de obtenção dos agregados miúdos britados e processo de beneficiamento dos grãos. Salienta-se que para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral, quanto mais fibrilares e lamelares forem os agregados, melhores serão as resistências.

Quanto a resistência à compressão axial, a Figura 4 apresenta média do resultado de três corpos de prova ensaiados quanto à resistência potencial obtida em cada traço, este último conforme especificado pela norma NBR 12655:2015[12].



Figura 4 – Resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias

Fonte: autores (2021).

O concreto que apresentou a menor resistência nominal, para 7 e 28 dias, foi o traço 75/25. Já aos 28 dias, percebe-se que o traço de 50/50 atingiu resistência à compressão dentro do desvio padrão da amostra de referência, ainda sim apresentando resultado satisfatório, corroborando com o encontrado por Hammes *et al.*[4] e Sadek *et al.*[13].

4 | CONCLUSÕES

O adequado empacotamento dos grãos e a curva de distribuição granulométrica dentro dos limites preconizados pela NBR 7211:2009[10] favorecem o melhor desempenho mecânico dos concretos. A substituição de AM por AMB elevou a resistência à tração na flexão a medida que a massa unitária da composição dos grãos também aumentou, além da substituição 50/50 obter resultados dentro do desvio padrão relativo a resistência à compressão da REF, demonstrando eficiência na dosagem de concretos por empacotamento de grãos e ajustes na distribuição granulométrica dos mesmo, mesmo não sendo perceptível redução do índice de vazios a medida que o AMB foi utilizado nos concretos.

Entende-se, por fim, que a substituição de 50% do AMN pelo AMB atingiu o valor de resistência à compressão axial mais próximo a amostra de referência nas duas idades analisadas, assim como resultado 34,66% maior na tração por compressão diametral em relação a REF, comprovando que o empacotamento dos grãos teve relevância para o estudo, mesmo esta não tendo sido a fração que apresentou melhor comportamento nas curvas de distribuição granulométrica (Figura 1), mas que obteve comportamento introdutório dentro do limite utilizável partindo para o limite ótimo seguidamente. A partir disso, conclui-se que há viabilidade de produção de concretos com a substituição do AMN pelo AMB, sendo possível a concreteira fazer utilização da substituição parcial, mantendo a trabalhabilidade e a bombabilidade dos concretos produzidos.

REFERÊNCIAS

1. LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d' água**. R. Árvore, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 439-444, 2005.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: Agregados – terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

3. ARAÚJO, W.M.P. de; TORRES, V.L; SANTOS, M.D.O; SOUZA, B.H.P. de; SILVA, M.A.M; SANTOS, H.C. dos; Utilização de areia de britagem em substituição à areia natural do concreto de alta resistência. Ln: **60º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO**, 2018, Foz do Iguaçu. PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: IBRACON, 2018.

4. HAMMES, R. F; HUPPES, F. A. H; VIER, L. C; BALZ, A; ANGELONI, P. D; PEDROZO, É. C: Estudo da influência da substituição da areia natural por pó de pedra na produção do concreto. Ln: **60º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, 2018, Belo Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: IBRACON, 2018.

5. SANTOS, B.S. dos; RAMALHO NETA, D.S; OLIVEIRA, N.K.A; NASCIMENTO, R.F. de; FIGUEIREDO, S.S.; BATISTA, L.S; Estudo da utilização de pó de pedra em substituição parcial a areia como agregado miúdo. Ln: **60º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO**, 2018, Foz do Iguaçu, PR. Anais. Foz do Iguaçu, PR: IBRACON, 2018.

6. GOMES, P. C. C.; BARROS, A. R. **Método de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2009. 165p.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

11. DRAGO, C.; VERNEY, J. C. K.; PEREIRA, F. M. Efeito da utilização de areia de britagem em concretos de cimento Portland. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 62, n. 3, p. 399-408, jul./set. 2009.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – procedimento. Rio de Janeiro. ABNT, 2015.

13. SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M.; ALI, H. A. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. **Journal of Clener Production**. 121, p. 19-32, 2016.