

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

INCORPORAÇÃO DE AREIA DE BRITAGEM EM SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL NA PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL

**Medson Clinton dos Santos Brandão, Caique Frois Pinheiro, Larissa Dias da
Silva, Fernanda Nepomuceno Costa.**

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Rua Rui
Barbosa, 710, Centro - 44380-000 – Cruz das Almas-BA, Brasil, medson@aluno.ufrb.edu.br,
caiquefrois@aluno.ufrb.edu.br, larissadias@aluno.ufrb.edu.br, fernandacosta@ufrb.edu.br.

Resumo

O concreto autoadensável (CAA) é capaz de fluir, auto adensar-se por seu próprio peso, preencher formas e passar por embutidos, mantendo sua homogeneidade durante as etapas de mistura, transporte, lançamento e acabamento. Apesar dos benefícios, o alto custo é um grande limitador de sua ampla utilização, uma vez que este requer maior quantidade de cimento em comparação ao concreto convencional ou bombeável. Objetivando reduzir custos e destinar adequadamente resíduos do processo de britagem, esse estudo visa incorporar a areia de britagem (AB), em diferentes teores, na substituição da areia natural (AN) a partir de um traço de referência utilizado por uma usina de concreto situada na Bahia. O concreto de referência e os concretos com AB foram avaliados em termos de propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Os resultados indicaram que as misturas com a incorporação da AB apresentaram comportamento no estado fresco satisfatório, compatível com o CAA de referência, e desempenho mecânico equivalente. Esses resultados demonstram a possibilidade de substituição da AN por resíduos do processo de britagem, reduzindo o custo do CAA, além de trazer vantagens técnicas e ambientais para sua produção.

Palavras-chave: Resíduo. Britagem. Concreto. Trabalhabilidade.

Área do Conhecimento: Engenharias – Engenharia Civil.

Introdução

A construção civil tem buscado se modernizar, agregando descobertas de novos processos e técnicas construtivas, novos equipamentos além de novos materiais. Com o objetivo de racionalizar, reduzir tempo de produção e custos com foco na sustentabilidade e preservação do meio ambiente. O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade, podendo ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida. Sua descoberta no fim do século XIX e seu intenso uso no século XX o transformaram no material mais consumido pelo homem depois da água (YAMEI E LIHUA, 2017).

Apesar de o concreto ser o material de construção mais utilizado no mundo, atualmente não se pode mais considerar apenas o estudo de concretos convencionais (CCV). O mercado e as técnicas construtivas exigem concretos que apresentem características especiais, como os concretos de alta resistência, de alto desempenho, autoadensáveis, com fibras, com altos teores de adições pozolânicas, aparentes, coloridos, brancos, sustentáveis, entre outros (TUTIKIAN E DAL MOLIN, 2021).

O concreto autoadensável (CAA), uma das variações do concreto desenvolvido por Okamura (1997), apresenta características de alta resistência à segregação e excelente deformabilidade no estado fresco. Um concreto só será considerado autoadensável se três propriedades forem alcançadas simultaneamente: a fluidez: a coesão necessária para que a mistura escoe intacta entre barras de aço ou habilidade passante; e a resistência à segregação (EFNARC, 2005). O CAA se diferencia do concreto convencional pela introdução de dois novos materiais em sua composição: materiais finos e aditivos. Ambos são essenciais para a formação do concreto, uma vez que os materiais finos proporcionam coesão e resistência à segregação, preenchendo os espaços vazios,

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

enquanto os aditivos promovem modificações químicas, reduzindo a quantidade de água necessária para a pasta e conferindo durabilidade e resistência ao concreto.

Assim, o alto teor de finos resulta em uma distribuição granulométrica mais uniforme, o que contribui para uma matriz compacta. Além disso, a fluidez do CAA permite uma distribuição eficiente do material dentro das fôrmas, garantindo a ausência de falhas durante o processo de concretagem (MELO, 2005; KRAUS, 2006). A utilização de concretos autoadensáveis oferece várias vantagens, entretanto, devido ao seu custo mais elevado em comparação aos concretos tradicionais, esse material enfrenta várias barreiras em termos de sua aplicação em larga escala. Portanto, estudos que buscam reduzir o custo desse material e ampliar sua utilização são de grande importância tanto do ponto de vista técnico quanto econômico (HO *et al.*, 2002). De acordo com Silva, Buest e Campiteli (2005), assim como nos concretos tradicionais, o CAA também possui areia natural em sua composição. No entanto, nos dias atuais, a utilização de areia natural na produção de concretos e argamassas tem se tornado uma questão problemática. Isso ocorre devido ao alto custo envolvido no seu processo de extração e, principalmente, aos diversos impactos ambientais que acarreta. Estudos como os de Assunção (2014), Ilangovana, Mahendrana e Nagamanib (2008) e Yamei e Lihua (2017) têm destacado essas questões. Como resultado desses impactos, órgãos ambientais como o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) têm implementado proibições ou restrições à extração de areia natural em várias localidades.

Diante desse contexto, a busca por materiais alternativos se torna de extrema importância visando a redução do impacto ambiental gerado pela indústria da construção civil. Nesse contexto, o uso de agregado proveniente do processo de britagem, a areia de britagem (AB) surge como uma possível solução para reduzir a dependência da areia natural (AN) na produção de concreto autoadensável. Trata-se de resíduos resultantes da produção de britas, geralmente dispostos nos pátios das pedreiras. Essa abordagem traz benefícios tanto econômicos quanto ambientais, uma vez que diminui a necessidade de extração da areia natural.

Além disso, oferece uma destinação adequada para os resíduos e reduz os custos de transporte, já que as pedreiras costumam estar mais próximas dos principais centros de consumo de concreto e argamassa do que as áreas de extração de areia natural (SIQUEIRA, 2020). Com isso, esse trabalho tem o objetivo de incorporar a areia de britagem (AB), em diferentes teores, na substituição parcial da areia natural a partir de um traço de referência utilizado numa central dosadora de concreto fornecedora de concreto situada na Bahia.

Metodologia

A metodologia da pesquisa foi desenvolvida e dividida em três etapas, a primeira composta pela revisão bibliográfica, de extrema importância para compreensão do tema. A segunda etapa é a de acompanhamento das centrais dosadoras de concreto, fazendo visitas em cidades do interior da Bahia, a fim de conhecer e entender a rotina dentro de uma central de produção de concreto usinado. A terceira etapa foi conduzida no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no *campus* de Cruz das Almas.

O traço de CAA foi disponibilizado por uma usina de concreto que comercializa seus produtos em cidades do Recôncavo da Bahia, tendo resistência característica à compressão de 20 MPa. Esse traço foi selecionado por ser o do tipo CAA mais comercializado pela empresa. Em seguida, os materiais utilizados na produção do CAA foram coletados, a partir de doação pela empresa, sendo realizada a caracterização física dos agregados.

A partir desse traço de referência (20 MPa) foram desenvolvidos novos traços com a modificação dos teores dos agregados miúdos, alterando a quantidade de areia natural (AN) e areia de britagem (AB), conforme a Tabela 1.

Os diferentes traços de concreto autoadensável foram produzidos, sendo avaliados no estado fresco. Foram moldados corpos de prova para avaliação dos concretos no estado endurecido.

A última etapa foi a análise dos resultados, fazendo um comparativo entre o CAA produzido apenas tendo a AN como único agregado miúdo e os diferentes concretos produzidos com diferentes teores de AN e AB.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Tabela 1 - Composição dos traços de CAA, com diferentes teores de areia de britagem.

Traço	Nomenclatura	CP V - ARI	AN	Traço unitário (em massa)				
				AB	B12,5mm	a/c	ADT.1 (%)	ADT.2 (%)
T-1(AN)	0% AB	1	2,65	-	2,24	0,568	0,40	0,63
T-REF	Traço Referência	1	2,12	0,53	2,24	0,568	0,40	0,63
T-2 (+5% AB)	+5% AB acima do T-REF	1	2,10	0,56	2,24	0,557	0,40	0,63
T-3 (+10% AB)	+10% AB acima do T-REF	1	2,07	0,58	2,24	0,559	0,40	0,63

Fonte: Autores.

Materiais e Métodos

Os materiais empregados na produção dos concretos foram doados pela empresa que concedeu o traço de referência do CAA, são eles: o cimento Portland CP V - ARI (produzido pela Intercement) como aglomerante; a areia natural como agregado miúdo, e brita 12,5mm como agregado graúdo, ambos provenientes de pedreiras situadas na Bahia; água potável; e os aditivos MIRA SET 148 (produzido pela GCP Applied Technologies) e o superplastificante POWERFLOW 1108 (produzido pela MC - Bauchemie Brasil). O resíduo utilizado para substituição no traço foi a areia de britagem (AB), proveniente de uma pedreira na região do recôncavo da Bahia.

A Figura 1 ilustra alguns equipamentos sugeridos pela NBR 15823:2017 (Anel J e Caixa L), na avaliação do CAA no estado fresco.

Figura 1 – Ilustrações do Anel J, Caixa L e de um dos traços de CAA estudados.



Fonte: Autores.

Ensaio do CAA no estado fresco

Os ensaios para avaliar o comportamento do concreto autoadensável no estado fresco são regidos pela NBR 15823:2017 (Partes de 1 a 6). Os ensaios utilizados no presente estudo foram os ensaios de espalhamento (*Slump Flow Test*), determinação do tempo de escoamento (t_{500}), índice de estabilidade visual (IEV), método do Anel J e método da Caixa L.

Ensaio no CAA no estado endurecido

O procedimento utilizado para a determinação da resistência à compressão axial seguiu as recomendações da NBR 5739:2018. Para tal, os corpos de prova foram moldados e mantidos em cura úmida (imersos em água) até os dias dos ensaios. Os ensaios foram realizados nas idades de 14h, 24h e 7 dias, sendo moldados 2 corpos de prova para cada idade. Foi utilizada a máquina de ensaio da Time Group Inc., modelo YAM-2000D, com capacidade para 200 toneladas, aplicando uma carga constante de $0,45 \pm 0,15$ MPa/s conforme o item 5.6 da NBR 5739:2018.

Resultados

A caracterização física dos agregados e aglomerantes utilizados na produção do CAA, conforme a Tabela 2 e Tabela 3, respectivamente.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Tabela 2 - Caracterização dos agregados utilizados.

Propriedade	Areia de Britagem (AB)	Areia Natural (AN)	Brita 12,5mm
Massa específica (Kg/dm ³)	2,73±0,01	2,64±0,01	2,79±0,025
Massa unitária (Kg/dm ³)	1,66±0,0021	1,62±0,0025	1,39±0,0030
Teor de material pulverulento (%)	12,42±0,37	2,19±0,15	0,5±0,11
Dimensão máxima	4,75	2,36	12,50
Módulo de finura	3,90	2,40	6,62

Fonte: Autores.

Tabela 3 - Caracterização do aglomerante utilizado.

Cimento	Massa específica (g/cm ³)	Área superficial BET (cm ² /g)	Área superficial Blaine (cm ² /g)	D50 (µm)	D90 (µm)
CP V - ARI	3,1369±0,0023	13193	3716	15,7	40,1

Fonte: Costa (2020).

A Tabela 4 apresenta o resumo dos resultados coletados durante os ensaios de avaliação do CAA no estado fresco, enquanto a Tabela 5 o resultado final e a classificação do CAA após o tratamento das informações coletadas por meio dos ensaios feitos com o CAA no estado fresco, regidos pela NBR 15823:2017.

Tabela 4 - Avaliação do CAA no estado fresco.

Traço	Ensaio Slump Flow (mm)	t500 (s)	IEV	Anel-J JF(mm)	Caixa-L H2/H1 (mm)
T-1(AN)	570	5	0	490	0,83
T-REF	550	3	0	500	0,81
T-2 (+5% AB)	560	2,07	0	515	0,83
T-3 (+10% AB)	570	1,87	0	530	0,81

Fonte: Autores.

Tabela 5 - Classificação dos concretos, segundo a NBR 15823:2017 dos traços analisados.

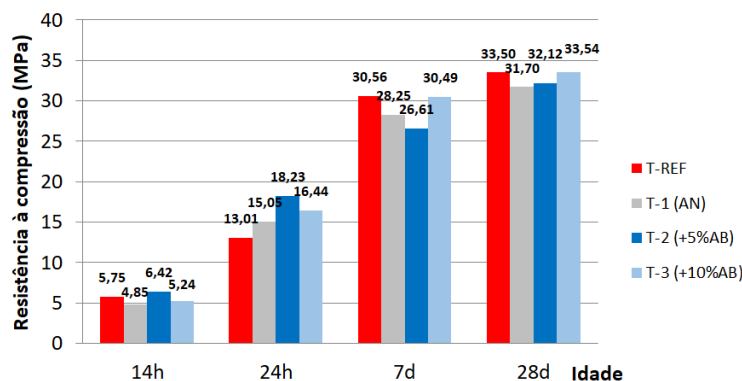
Traço	Ensaio Slump Flow (mm)	t500 (s)	IEV	Anel-J PJ(mm)	Caixa-L H2/H1 (mm)
T-1(AN)	SF1	VS2	0	PJ2	PL2
T-REF	SF1	VS2	0	PJ2	PL2
T-2 (+5% AB)	SF1	VS2	0	PJ2	PL2
T-3 (+10% AB)	SF1	VS1	0	PJ2	PL2

Fonte: Autores.

Os resultados da avaliação da resistência à compressão dos concretos estudados estão dispostos na Tabela 6. Como esse traço de CAA é utilizado para produção de paredes de concreto e há necessidade de desforma rápida para utilização das fôrmas metálicas no dia seguinte à concretagem, os concretos foram ensaiados na idade de 14h, idade estabelecida pelo estruturalista como preponderante para realização da operação de desforma condicionada a obtenção de resistência mínima de 3MPa. Observa-se que para todos os traços, esse resultado foi alcançado, sendo o concreto produzido apenas com areia natural tendo o pior desempenho entre os demais traços.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 2 - Resultados da determinação da resistência à compressão.



Fonte: Autores.

Discussão

A NBR 15823-1:2017 afirma que para o CAA classificado com escoamento SF1 pode ser aplicado em “Estruturas não armadas ou com baixa taxa de armadura e embutidos, cuja concretagem é realizada a partir do ponto mais alto, com deslocamento livre, estruturas que requerem uma curta distância do espalhamento horizontal do concreto autoadensável”.

Para o ensaio t500, o parâmetro VS2 classifica como adequado para a maioria das aplicações correntes, apresenta efeito tixotrópico que acarreta menor pressão sobre as fôrmas e melhor resistência à segregação (NBR 15823-1:2017). No ensaio Anel J, segundo a NBR 15823-1:2017, a classe PJ 2 é “Adequado para elementos estruturais com espaçamento de armadura de 80 mm e 100mm, exemplo de lajes, painéis, e elementos de fundação”.

Nesse sentido, em concordância com a pesquisa de Siqueira (2020), apesar da adição de agregados britados poder resultar em um aumento da segregação estática nas misturas, os concretos demonstram altos níveis de resistência à segregação, destacando a viabilidade da incorporação desses materiais em concretos autoadensáveis.

Para a avaliação dos concretos no estado endurecido (NBR 5739:2018), como mostra a Figura 2, o desempenho de todas as amostras é satisfatório, tendo em vista que o traço referência fornecido é de Classe C20 (20 MPa). A resistência de ambos os traços, foi alcançada com a idade de 7 dias.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- A utilização de AB resultou em concretos com desempenho equivalente a dosagens de referência no estado fresco e endurecido;
- A substituição parcial da areia natural pela AB, reduz a porosidade da mistura, uma vez que as partículas de areia natural tendem a preencher os vazios deixados pela areia de britagem;
- Todas as misturas de CAA apresentaram bom desempenho quanto à resistência e à segregação analisados pelo IEV;
- Ao analisar os métodos do Anel-J e da Caixa-L foi possível perceber a habilidade passante do concreto autoadensável quando submetido a um fluxo livre e fluxo confinado;
- O estudo mostrou a viabilidade técnica da utilização da areia de britagem (AB) em substituição parcial à areia natural, possibilitando, assim, a redução de impactos sociais e ambientais relacionados à extração da areia natural, ou seja, oferece vantagens técnicas e ambientais para a fabricação de concretos autoadensáveis mais sustentáveis;

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-1**: Concreto Autoadensável – Parte 1: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro, 2017.
- 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 cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2017.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-3:** Concreto Autoadensável – Parte 3: Determinação da habilidade passante – Métodos do anel J. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-4:** Concreto Autoadensável – Parte 4: Determinação da habilidade passante – Métodos da caixa L e da caixa U. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:** Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

COSTA, F. N. **Valorização do resíduo de construção civil por meio de sua incorporação ao processo de clínquerização.** 2020. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

EFNARC – European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems. **The European Guidelines for self-compacting concrete.** In: EFNARC, May, 2005.

HO, D.W.S.; SHEINN, A.M.M.; NG, C.C.; TAM, C.T. **The use of quarry dust for SCC applications.** *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 4, p. 505–511, 2002.

ILANGOVANA, R.; MAHENDRANA, N.; NAGAMANIB, K. **Strength and Durability Properties of Concrete Containing Quarry Rock Dust As Fine Aggregate.** *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, v. 3, n. 5, p. 20–26, 2008.

KRAUS, Z. F. **Investigação de misturas de argamassas para dosagem do concreto auto-adensável contendo ora fíler calcário, ora aditivo promotor de viscosidade em substituição ao fíler.** Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 154p., 2006.

MELO, K. A. DE. **Contribuição À Dosagem De Concreto Auto-Adensável Com Adição De Fíler Calcário.** Dissertação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 183p., 2005.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. **Argamassas Com Areia Britada: Influência dos finos e da forma das partículas.** VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, p. 12–22, 2005.

TUTIKIAN, B. F.; DAL MOLIN, D. C. **Concreto Autoadensável.** 3. ed. São Paulo: Editora Leud, 2021.

YAMEI, H.; LIHUA, W. **Effect of Particle Shape of Limestone Manufactured Sand and Natural Sand on Concrete.** *Procedia Engineering*, v. 210, p. 87–92, 2017.

SIQUEIRA, T. **Uso de finos de rocha granítica (FRG) e areia de britagem, produzidos na região metropolitana de Salvador (RMS), para produção de concreto auto adensável.** 2020. 195p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Bahia - UFBA, Salvador - BA.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, à FAPESB e à usina de concreto doadora dos materiais utilizados na pesquisa.