

Influência do filer de areia de fundição nas propriedades do concreto autoadensável.

Influence of foundry sand filler on the properties of the self-compacting concrete.

Beltrame, N.A.M. (1), Angulski da Luz, C. (2), Bergamann, A.C. (3), Biava, J.F.(4), Santos, A.P. (5)

(1) (3) (4) (5) *Discentes do curso de Mestrado em Engenharia Civil da UTFPR – Campus Pato Branco.*

(2) *Professora Doutora, Programa de Pós-Graduação Eng.ª. Civil, UTFPR – Campus Pato Branco.
Via do Conhecimento, Km 1 - CEP 85503-390 - Pato Branco - PR - Brasil*

Resumo

O concreto é um dos materiais mais utilizado na construção civil. Com os avanços tecnológicos e novas necessidades do mercado, concretos especiais tem sido requerido. O concreto autoadensável (CAA) se caracteriza pela facilidade de fluir dentro das fôrmas, passando pelas armaduras e preenchendo os espaços através de seu peso próprio. Sua alta resistência e fluidez são obtidas pela baixa relação a/c e uso de aditivos. Propriedades especiais no estado fresco deve ser atendida, tais como: espalhamento, viscosidade e capacidade passante por restrições. Mas, concretos fluídos aumentam os riscos de exsudação e segregação. As adições minerais podem minimizar os efeitos negativos da segregação e exsudação e ainda proporcionar ganhos ambientais com a destinação adequada dos resíduos industriais e redução da extração de recursos naturais. A cinza volante (CV) e o filer de areia de fundição (FAF) são resíduos oriundos de processos industriais. A CV é um material pozzolânico artificial mais comum, obtido da combustão em usinas termoeletricas. O FAF é uma mistura de areia de sílica, descartada pelas indústrias de fundição de metais. Neste contexto, este estudo teve como objetivo investigar o comportamento do FAF como material fino no CAA. Adições de CV também foram utilizadas para comparação. A dosagem de concretos e argamassas foram baseadas no método de Gomes (2002). As avaliações incluíram as análises de calorimetria, MEV, espalhamento, viscosidade, capacidade passante, massa específica, resistência à compressão e módulo de elasticidade. Os resultados indicaram que adições de FAF apresentaram propriedades adequadas no estado fresco para argamassas e concretos. No estado endurecido, as argamassas indicaram incremento de resistência mecânica, contudo, quando incorporado em concretos, a resistência à compressão foi reduzida.

Palavra-Chave: Concreto autoadensável, adição mineral, cinza volante, filer de areia de fundição.

Abstract

Concrete is one of the most used materials in civil construction. With technological advances and new market needs, special concrete has been required. Self-compacting concrete (SCC) is characterized by the ease of flowing within the forms, passing through the reinforcement and filling the spaces through its own weight. Its high resistance and fluidity are obtained by the low a / c ratio and the use of additives. Special properties in the fresh state must be taken into account, such as: spreading, viscosity and capacity passing through restrictions. However, concrete fluids increase the risks of exudation and segregation. Mineral additions can minimize the negative effects of segregation and exudation and also provide environmental gains with the proper destination of industrial waste and reduced extraction of natural resources. Fly ash (FA) and foundry sand filler (FSF) are waste products from industrial processes. FA is a more common artificial pozzolanic material, obtained from combustion in thermoelectric plants. FSF is a mixture of silica sand, discarded by the metal smelting industries. In this context, this study aimed to investigate the behavior of the FAF as a fine material in the SCC. FA additions were also used for comparison. The dosage of concrete and mortar was based on the method of Gomes (2002). The evaluations included the analysis of calorimetry, SEM, spreading, viscosity, throughput, specific mass, resistance to compression and modulus of elasticity. The results indicated that additions of FSF had adequate properties in the fresh state for mortars and concretes. In the hardened state, the mortars indicated an increase in mechanical strength, however, when incorporated into concrete, the compressive strength was reduced.

Keywords: Self-compacting concrete, mineral additions, fly ash; foundry sand filler.

1 Introdução

O concreto é um dos materiais mais utilizado na indústria da construção civil. Com os avanços tecnológicos e novas necessidades do mercado, concretos especiais tem sido requerido. A construção de elementos densamente armados exige que misturas de concreto fresco sejam fluídas (MEHTA; MONTEIRO, 2014). O concreto autoadensável (CAA) pode ser moldado *in loco* sem o uso de compactação ou vibração externa, isto é, são aqueles que escoam sob a ação do peso próprio para preenchimento das fôrmas (NEVILLE; BROOKS, 2013; ROMANO et. al, 2011; TUTIKIAN, 2007). Além disso, deve ser capaz de sustentar os grãos de agregado graúdo, mantendo-se homogeneamente distribuído no interior da mistura (EFNARC, 2005). Essas propriedades permitem a formação de um produto livre de vazios e falhas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Além do agregado miúdo, agregado graúdo e cimento Portland, a produção do CAA incluem aditivos superplastificantes, modificadores de viscosidade, baixa relação água/cimento e adições minerais (< 600 µm) (MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE; BROOKS, 2013). Esses materiais contribuem para obtenção de uma microestrutura uniforme, zona de transição menos porosa e menor fissuração (NEVILLE; BROOKS, 2013; REPETTE, 2011).

A caracterização do CAA inclui três requisitos especiais: fluidez, capacidade de passar entre armaduras e resistência à segregação (EFNARC, 2005; NEVILLE; BROOKS, 2013; TUTIKIAN, 2007). Mas, o uso de concretos fluídos apresentam riscos de exsudação e segregação, podendo debilitar a zona de transição (interface entre a pasta de cimento e os agregados), inclusive no aço da armadura e, afetar as propriedades mecânicas e durabilidade (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A exsudação pode ser entendida como a separação dos componentes da pasta (água/finos), ou seja, é uma forma de segregação na qual parte da água da mistura tende a migrar para superfície do concreto recém-lançado (ROMANO et. al, 2011; NEVILLE; BROOKS, 2013). Já a segregação, de acordo com os mesmos autores, ocorre com a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea de modo que sua distribuição não seja mais uniforme, isto é, separação das fases pasta-areia (em argamassas) ou da argamassa-agregado (em concretos).

Entretanto, as adições minerais podem proporcionar benefícios técnicos e ambientais para os CAAs. A questão ambiental se refere à redução da extração de recursos naturais e destinação adequada de materiais originados em processos industriais, enquanto o âmbito técnico está relacionado a minimização dos efeitos negativos da segregação e exsudação do concreto (BAUER, 2013; COUTINHO NETO, 2004; MALHOTRA; MEHTA, 1996).

A cinza volante (CV) e a areia de fundição (AF) são resíduos oriundos de processos industriais. O primeiro é um material pozolânico artificial mais comum, obtido a partir dos gases de combustão de fornalhas em usinas termoeletricas à base de carvão (NEVILLE; BROOKS, 2013). O segundo é uma mistura de areia de sílica, descartada pelas indústrias

de fundição de metais ferrosos e não-ferrosos (MONOSI et. al, 2010). No Brasil, estima-se que 3 milhões de toneladas de AF são geradas anualmente (ABIFA, 2014). Globalmente, a produção anual desses resíduos podem chegar em torno de 62,64 milhões de toneladas (SANDHU; SIDDIQUE, 2019).

Ao se utilizar um material pozolânico como material fino em argamassas e concretos, aumenta-se a resistência à segregação da mistura e ao mesmo tempo em que se contribui para a formação de compostos resistentes no material endurecido (TUTIKIAN, 2007). Esses materiais reagem com o hidróxido de cálcio liberado pela hidratação dos silicatos do cimento, melhorando a fissuração térmica, resistência final, impermeabilidade e fortalecimento da zona de transição (MEHTA; MONTEIRO, 2014; NEVILLE; BROOKS, 2013).

Em concretos e argamassas convencionais, alguns estudos indicaram que a utilização da AF (sem tratamento térmico), gerou redução da trabalhabilidade, diminuição do desempenho mecânico, aumento do teor de ar incorporado e fissuração por reações expansivas (MATOS et al., 2019; MONOSI et al., 2010; SANDHU; SIDDIQUE, 2019; SILVA et al., 2011). No entanto, pesquisas também apontaram que teores de areia de fundição de até 20 % pode ser usado sem afetar as propriedades do concreto, enquanto outros demonstraram ganhos na resistência mecânica e melhora na absorção utilizando teores de até 30 % de AF (PINTO, 2013; SIDDIQUE et al., 2009; MANOHARAN et al., 2018). Assim, areia de fundição é considerada adequada até um certo ponto para a substituição de agregados finos no concreto (PARASHAR et al., 2020). Em teores mais elevados, a estrutura se torna heterogênea e porosa (SANDHU; SIDDIQUE, 2019).

Em concretos autoadensáveis, a incorporação de FAF exibiram desempenho aceitável no estado fresco para teores de até 30 %, tais como: fluidez, habilidade passante e capacidade de preenchimento (SANDHU e SIDDIQUE, 2019; SUA-IAM et al., 2019; PARASHAR et al., 2020). De acordo com Sua-iam et al. (2019), o teor 30 % alcançou as maiores resistências à compressão e à tração em relação ao concreto de referência quando mesclado com cinza da casca de arroz (10 %). Contudo, o oposto foi relatado por Sandhu e Siddique (2019). Segundo os autores, o aumento do teor de finos de FAF diminuiu a resistência à compressão e à tração aos 28 dias, justificado pela hidratação e formação inadequada de vazios. O FAF também foi apontado como alternativa para reduzir a segregação do CAA (PARASHAR et al., 2020; SANDHU; SIDDIQUE, 2019). Em argamassas autoadensáveis, a incorporação de 58 kg de areia de fundição calcinada (partículas <150 µm) como adição mineral possibilitou a redução de 76 kg de cimento por m³ de argamassa (MATOS et al., 2020).

Nota-se que a areia de fundição apresenta comportamento diferenciado que pode afetar as propriedades no estado fresco e endurecido dos concretos. Neste contexto, este estudo teve como objetivo investigar o comportamento da areia de fundição não tratada como material fino em concretos autoadensáveis, visando o reaproveitamento de subprodutos industriais e redução do impacto ambiental.

2 Materiais e programa experimental

2.1 Materiais

As misturas de CAA foram proporcionados com cimento Portland composto, tipo CP II-Z-32. Brita basáltica e areia natural foram usadas como agregados. O tamanho máximo do agregado graúdo foi de 12,5 mm. O aditivo químico superplastificante (sp) utilizado foi o TEC-FLOW 7030 fabricado pela empresa Grace. Areia de fundição e cinza volante foram empregadas como adições minerais nas misturas. Nas Tabelas 01 e 02 estão apresentadas a caracterização dos materiais, tais como: massa específica, superfície específica (Blaine) e composição química média do aglomerante hidráulico. O FAF (fíler de areia de fundição) e o CV (cinza volante) apresentaram massas específicas similares, contudo a área superficial do fíler areia de fundição foi relativamente menor em relação a CV (43 %) e ao CP II (58 %).

Tabela 01 - Caracterização dos materiais.

Materiais	Blaine (cm ² / g)	Massa Específica (g / cm ³)
Agregado Miúdo	—	2,64
Agregado Graúdo	—	2,87
Aditivo superplastificante	—	1,06*
Cimento CP-II-Z 32	3,54*	2,98*
Fíler de areia de Fundição (FAF)	1,47	1,84
Cinza Volante (CV)	2,58	1,86

*Indicado pelo fabricante.

Tabela 02 - Composição química do cimento Portland CP II-Z-32.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
6,28	22,37	3,10	54,26	3,51	2,56

Fonte: Cimento Itambé (valores médios).

Para obtenção do material fino (FAF), a areia de fundição foi peneirada e o conteúdo passante na peneira com abertura de malha 150 µm foi selecionado. A CV não teve nenhum tipo de tratamento. As amostras de CV e FAF foram submetidas à análise de difração de raios-X em difratômetro Paranalytical Empyrean (radiação CuKα com 40 kV no intervalo de 5-80 ° de 2θ, com passos de 0,02 ° e tempo de contagem 10 segundos). A DRX indicou que a cinza volante é constituída principalmente por quartzo (SiO₂) e mulita (Al_{4,64} Si_{1,36} O_{9,68}). Já o fíler de areia de fundição apresentou picos característico mais intensos de quartzo (SiO₂) conforme ilustrado na Figura 01.

Análise por microscopia eletrônica por varredura (MEV) também foi realizada conforme Figura 02. Nota-se que as partículas do FAF são maiores, irregulares e angulosas, enquanto a CV é constituída por partículas esféricas e menores.

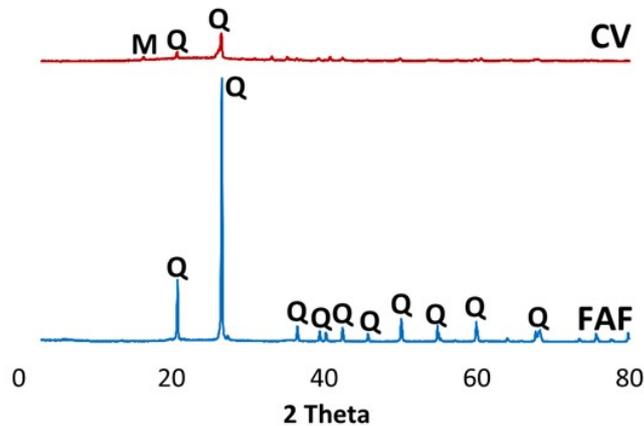


Figura 01 - Difratometria de Raios-X das amostras de filer de areia de fundição e cinza volante.
 Q=quartzo (SiO_2), M=mulita ($\text{Al}_{4,64}\text{Si}_{1,36}\text{O}_{9,68}$)

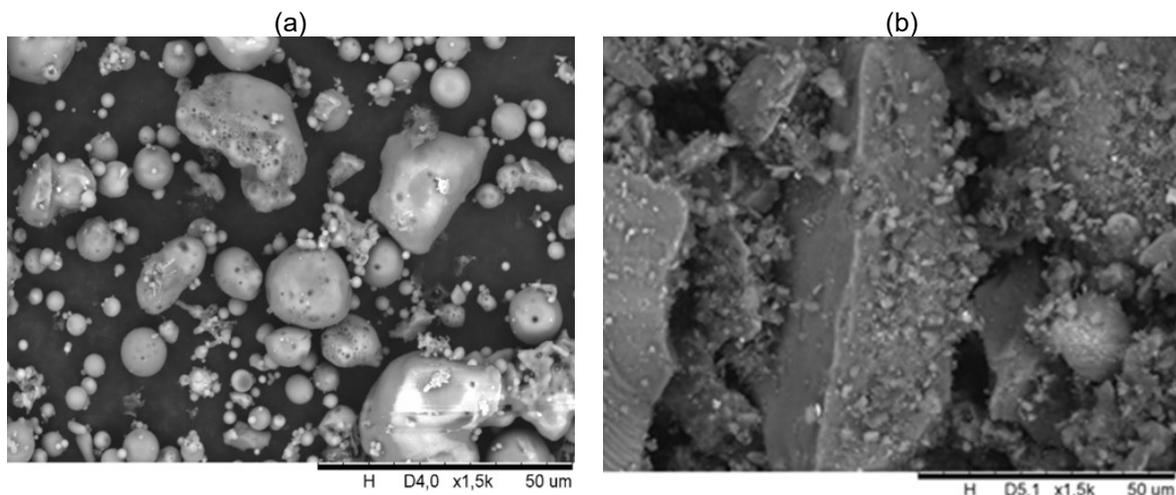


Figura 02 - MEV das amostras de cinza volante (a) e filer de areia de fundição (b).

2.2 Métodos

A dosagem do CAA foi baseada no método experimental de Gomes (2002), que consiste na determinação de um esqueleto granular com o mínimo de vazios dos materiais secos; relação água/aglomerante em torno 0,35-0,40; relação de materiais finos e cimento (f/c) e saturação do aditivo superplastificante para obtenção de uma pasta com alta fluidez e boa coesão. Essas etapas são obtidas e otimizadas separadamente para obtenção das propriedades mais adequadas dos materiais (ALENCAR, 2008).

2.2.1 Aditivo superplastificante e teor de materiais finos

A saturação do aditivo superplastificante e a relação finos/cimento das pastas foram obtidos através do ensaio do cone de Marsh e espalhamento (mini-slump). A mistura com adição de cinza volante apresentou uma estabilização do teor de aditivo em torno de 0,50 % e espalhamento próximo de 60 cm. Para a amostra com filer de areia de fundição, a saturação do aditivo foi em torno de 0,70 % e espalhamento de 70 cm.

O ensaio de espalhamento da argamassa também foi realizado experimentalmente através do ajuste do teor de finos para controle da fluidez e exsudação. Adotou-se como parâmetro de espalhamento da argamassa o valor próximo de 30 cm conforme recomendado por Domone e Jin (1999, apud GOMES; BARROS, 2009).

Na Tabela 03 e Figura 03 estão apresentados os resultados dos ensaios de espalhamento das argamassas. Nota-se que ambas as misturas apresentaram teores de aditivos superplastificante e espalhamento similares, contudo para a argamassa com FAF foi necessário menor quantidade de finos para controlar a exsudação e fluidez.

Tabela 03 - Teor de adições, aditivo e espalhamento das argamassas.

Tipo	Adições minerais (%)	Superplastificante (%)	Espalhamento (cm)
FAF	3,0	0,8	32,0
CV	5,0	0,8	32,0

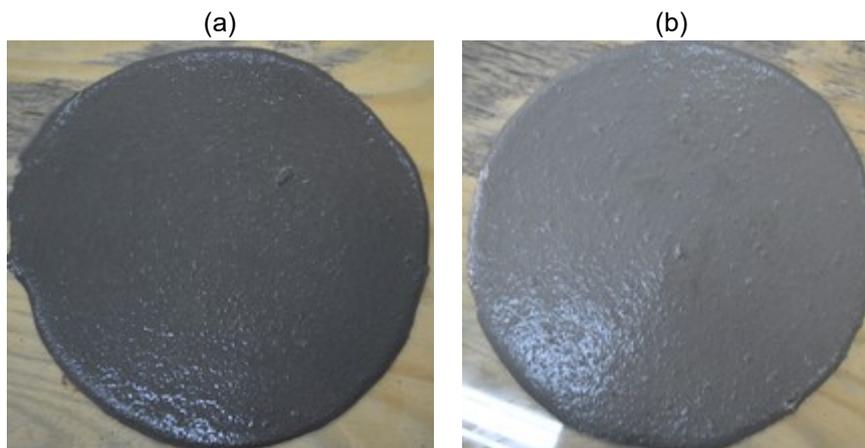


Figura 03 - Espalhamento da argamassa, (a) filer de areia de fundição e (b) cinza volante.

2.2.2 Esqueleto granulométrico

O esqueleto granulométrico, apresentado na Figura 4, foi composto pelos agregados graúdos e miúdos para obtenção do maior empacotamento das partículas. Esse procedimento tem como objetivo minimizar o volume e os vazios entre os grãos dos agregados, diminuindo a necessidade da pasta para a lubrificação, reduzir a retração e a porosidade do concreto (TUTIKIAN, 2004).

Essa relação foi obtida experimentalmente através da massa unitária e índice de vazios com base na NBR 9778 (2009). Nota-se que os melhores resultados foram alcançados com as proporções de 70-30 e 50-50, isto é, maior massa unitária e menor índice de vazios. Assim, neste estudo adotou-se a relação 50-50 (50 % de agregado miúdo e 50 % de agregado graúdo).

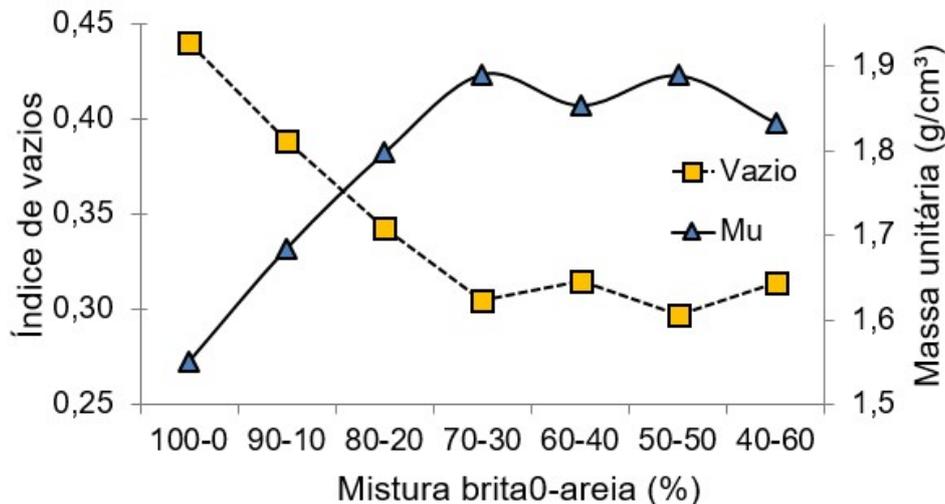


Figura 04 - Esqueleto granulométrico dos agregados miúdos e graúdos.

2.2.3 Ensaios no estado fresco

Os concretos autoadensáveis devem apresentar desempenho satisfatório quanto à habilidade de preenchimento e passagem por restrições. Para classificação do CAA no estado fresco conforme determina a NBR 15823-1 (2017), foram realizados os seguintes ensaios: espalhamento através do cone de Abrams (NBR 15823-2:2017), verificação da viscosidade plástica aparente pelo t500 (NBR 15823-2:2017), determinação da capacidade passante com o método da caixa L (NBR 15823-4:2017), método do funil V para determinação de sua viscosidade (NBR 15823-5:2017) e determinação da massa específica pela NBR 9833 (2009).

2.2.4 Ensaios no estado endurecido

Os ensaios de resistência à compressão do CAA foi baseado na NBR 5739 (2018) e o módulo de elasticidade através da NBR 8522 (2017). Foram moldados três amostras para cada tipo de mistura nas dimensões de 10 x 20 cm e ensaiados aos 7 e 28 dias de idade. Os corpos de prova foram mantidos em câmara úmida com temperatura controlada (23 ° C e UR 95-100 %) até a data dos ensaios. Para a resistência à compressão e flexão das argamassas, foram moldadas três barras de argamassas prismáticas nas dimensões de 40 x 40 x 160 mm. Após 24 h de cura em câmara úmida (23 ° C e UR 95-100 %), as amostras foram desmoldadas e imersas em solução de água saturada com cal (3 g / l) até a data dos testes (7 e 28 dias). Os ensaios foram realizada na prensa hidráulica EMIC PC2000.

2.2.5. Calor de hidratação

Para o ensaio de calorimetria, foram utilizadas 250 g de CAA. As análises foram feitas em equipamento da marca Calmetrix, cujas medições de liberação de calor foram determinadas durante um período de hidratação de 7 dias (168 horas).

3 Resultados e discussões

3.1 Dosagem e propriedades no estado fresco

Na Tabela 04 estão indicados a quantidade de materiais empregados nas misturas concreto autoadensável com adição de fíler de areia de fundição, nomeado de CAA-FAF e concreto autoadensável com adição de cinza volante, nomeado neste estudo de CAA-CV. Observa-se que o traço das misturas foram semelhantes, diferenciando em maior grau na quantidade de adições de materiais finos.

Tabela 04 - Quantidade e relação entre os materiais do CAA.

Materiais	CAA-FAF	CAA-CV
Cimento (kg / m ³)	433,59	421,19
Fíler (finos) (kg / m ³)	38,50	54,75
Finos/Cimento (f / c)	0,09	0,13
Água (kg / m ³)	173,44	168,48
Água/Cimento (a / c)	0,40	0,40
Água/Finos	0,37	0,35
Superplastificante (kg / m ³)	6,63	5,31
Superplastificante/Cimento (sp / c)	0,015	0,013
Agregado Miúdo (kg / m ³)	867,18	842,38
Agregado Graúdo (kg / m ³)	867,18	842,38
Total de Agregados (kg / m ³)	1734,36	1684,76

Os resultados da dosagem e ensaios no estado fresco do estão apresentados na Tabela 05. Nota-se que a mistura de CAA-FAF demandou menor quantidade de materiais finos e maior quantidade de aditivo superplastificante para uma trabalhabilidade similar ao CAA-CV. As massas específicas, espalhamento (slump flow test) e o teste do funil V no estado fresco não apresentaram diferenças significativas, contudo, o CAA-FAF apresentou maior facilidade de escoar e passar por restrições através do teste da caixa L.

Tabela 05 - Traço e resultado dos ensaios dos CAA no estado fresco.

Tipo	Traço	Adição finos (%)	sp (%)	Me (kg/m ³)	Slump (cm)	Caixa L H ₁ /H ₂	Funil V (s)	Relação Areia/brita ⁰
CAA-FAF	1:2:2:0,40	8,88	1,53	2386,56	67	1,00	15	50/50
CAA-CV	1:2:2:0,40	13,00	1,26	2334,49	65	0,82	15	50/50

De acordo com Repette (2011), a adição de cinza volante, por apresentar forma quase esférica, proporciona uma maior rolagem dos agregados, diminuindo o atrito interno entre as partículas. Isso resulta em maior fluidez e viscosidade para um menor consumo de superplastificante, contudo, a variabilidade das características pode ser elevada entre as diferentes fontes, o que pode ser um fator adverso na produção do CAA. Essa afirmação corrobora com os resultados dessa pesquisa, pois o CAA-CV consumiu menor quantidade de aditivo para obtenção das mesmas propriedades no estado fresco comparados ao CAA-FAF. Já a forma superficial das partículas do FAF pode ter contribuído para o maior ANAIS DO 62º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2020 – 62CBC2020

teor de dispersante utilizado. As superfícies angulosas demandam maior quantidade de água e de superplastificante (REPETTE, 2011).

De acordo com Repette (2011), não há restrições para os teores dos materiais componentes do concreto autoadensável. Assim, além da classificação indicada pela NBR 15823-1 (2017), valores típicos recomendados foram comparados e estão apresentados na Tabela 06.

Tabela 06 - Comparação com os valores típicos recomendados para o CAA.

Quantidades típicas de materiais para o CAA	FAF	CV
Teor de cimento entre 350 a 450 k / m ³	433	421
Incorporação de partículas finas entre 150 e 250 kg/m ³	38	55
Relação água/finos (em volume) entre 0,8 e 1,10	1,03	0,98
Volume de agregado miúdo na fração de argamassa entre 35 % e 50 %	49	48
Volume de agregado graúdo no concreto entre 25 % e 35 %	31	31

Fonte: Adaptado de Repette (2011).

Observa-se na Tabela 06 que praticamente todos os quesitos estão dentro da faixa dos valores típicos recomendados para a produção do concreto autoadensável, exceto a quantidade de partículas finas. Nas misturas CAA-FAF e CAA-CV foram utilizados teores de adições minerais (finos) inferiores aos comumente empregados, em torno de 75 % e 64 % respectivamente abaixo do recomendado, contudo, os concretos CAA-FAF e CAA-CV apresentaram desempenho adequado no estado fresco.

3.2 Propriedades no estado endurecido

Na Tabela 07 e Figura 05 estão ilustrados os resultados de resistência à compressão da argamassa e do CAA e módulo de elasticidade dos concretos. Nas argamassas, os resultados de resistência à compressão indicaram aumento para as duas misturas analisadas, porém o CAA-CV foi superior ao CAA-FAF nas duas idades analisadas. Para o CAA-FAF, foi observado um acréscimo de 31,31 % dos 7 aos 28 dias, enquanto que na mistura de CAA-CV o incremento foi de 21,31 %. Esse resultado contraria o estudo de Silva et. al. (2011), pois o aumento da resistência à compressão em argamassas foi observado nesta pesquisa.

Tabela 07 – Resultados de resistência mecânica das argamassas e CAA e módulo de elasticidade.

Amostras	Resistência à compressão (MPa)								Módulo de elasticidade (MPa)			
	Argamassa				Concreto				Concreto			
	FAF		CV		FAF		CV		FAF		CV	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
CP1	23,01	41,14	38,55	45,28	26,22	25,60	40,41	56,24	22,34	28,33	24,74	42,01
CP2	37,57	41,26	36,33	45,34	24,56	23,75	39,89	55,09	17,88	27,29	33,66	41,56
CP3	32,61	39,97	37,27	45,21	24,45	21,25	40,79	57,36	18,69	25,81	23,51	42,41
Média	31,06	40,79	37,38	45,28	25,08	23,53	40,36	56,23	19,64	27,14	27,30	41,99
D.P.	6,04	0,58	0,91	0,05	0,81	1,78	0,37	0,93	1,94	1,03	4,52	0,35
C.V.	0,19	0,01	0,02	0,00	0,03	0,08	0,01	0,02	0,10	0,04	0,17	0,01

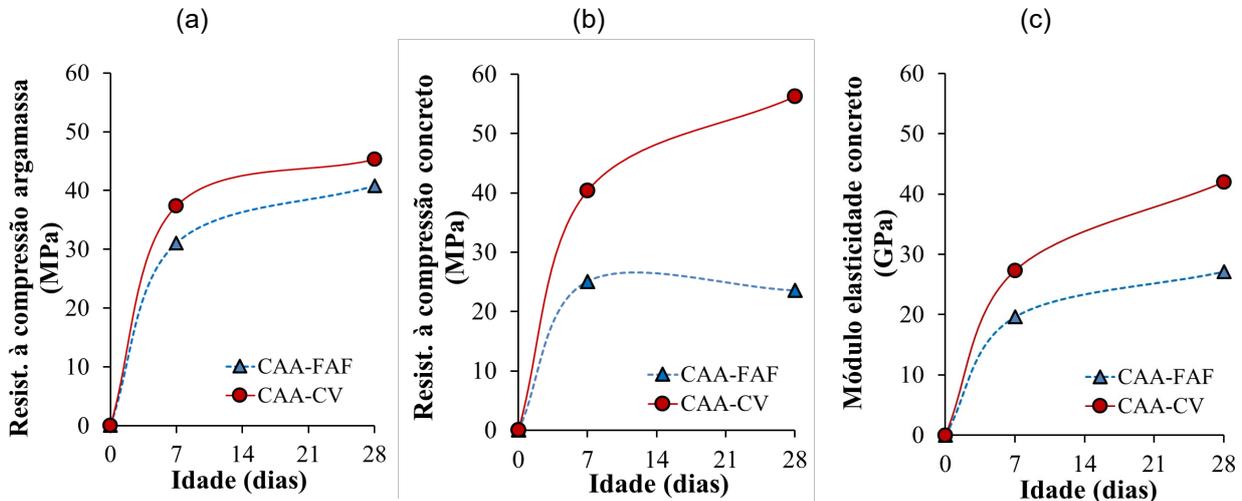


Figura 05 - Resistência à compressão das argamassas (a), concreto (b) e módulo de elasticidade do concreto (c) aos 7 e 28 dias.

Nos concretos, a utilização do fíler de areia de fundição (8,88%) promoveu uma redução de 6,15 % da resistência à compressão dos 7 aos 28 dias. Aos 28 dias, o CAA-FAF se mostrou frágil e quebradiço, possivelmente pela ocorrência de expansão e fissuração. Esse resultado contradiz o estudo de Siddique et al. (2009), pois em concretos a resistência mecânica declinou. De acordo com Silva et al. (2011) esse comportamento pode ter sido ocasionado pelos resíduos de materiais metálicos, principalmente o alumínio, presente na composição da areia de fundição, contribuindo para a ocorrência de reações expansivas e redução da resistência mecânica. Por outro lado, o CAA-CV apresentou melhor desempenho mecânico já nas primeiras idades e aos 28 dias o incremento de resistência foi de 39,30 %.

No módulo de elasticidade, o comportamento dos concretos foram similares aos resultados da argamassa. Para o CAA-FAF, o acréscimo foi de 38 %, enquanto que para o CAA-CV o aumento foi de 53 % dos 7 aos 28 dias. Assim, verifica-se que o CAA-CV apresentou melhor desempenho em relação ao CAA-FAF.

3.3 Calor de hidratação

A Figura 06 apresenta a evolução da liberação do calor de hidratação dos concretos analisados. Observa-se que a taxa de evolução de calor da mistura CAA-FAF foi maior que a mistura de CAA-CV, inclusive nas primeiras horas. Ambas as misturas apresentaram pico máximo de hidratação entre 22 h e 24 h. A DRX das amostras do FAF e CV ilustradas na Figura 01, indicaram o quartzo (SiO_2) como principal componente da composição química com picos mais intensos nas amostras de FAF. O aumento na liberação de calor do FAF sugere que essas partículas apresentam maior capacidade de nucleação durante as reações de hidratação do concreto. Adições minerais superpozânicas apresentam maior capacidade de atuar como pontos de nucleação, acelerando o processo de hidratação (DAL MOLIN, 2014). As partículas finas no FAF podem atuar como locais de nucleação para a formação de produtos hidratados, ANAIS DO 62^o CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2020 – 62CBC2020

reduzindo o tempo de endurecimento e aumentando a temperatura devido à liberação do calor de hidratação (MATOS et al., 2019). Após 25 h, as misturas apresentaram comportamentos similares.

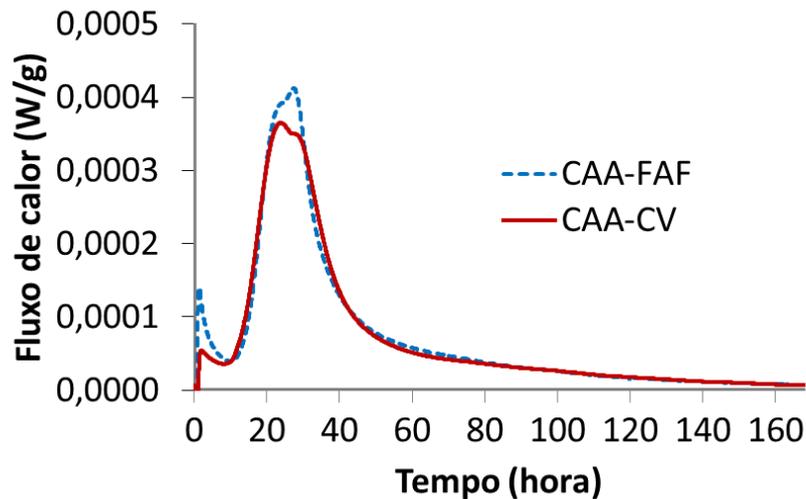


Figura 06 - Taxa de evolução de calor para as misturas de CAA-FAF e CAA-CV.

3.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na Figura 07 estão apresentadas a microscopia eletrônica de varredura (MEV) das argamassas (Figura 07-a-b) e a zona de transição dos concretos com adições de FAF e CV (Figura 07-c-d) aos 28 dias. Observa-se que ambas as argamassa apresentaram uniformidade entre a pasta e os agregados e, ausência de fissuras, confirmando a não segregação dessas misturas e aumento de resistência à compressão em ambas as amostras. Por outro lado, nos concretos de CAA-FAF observou-se fissuração na zona de transição entre a argamassa e os agregados graúdos, justificando seu baixo desempenho mecânico. Já os CAA-CV apresentaram uniformidade e ausência de fissuras.

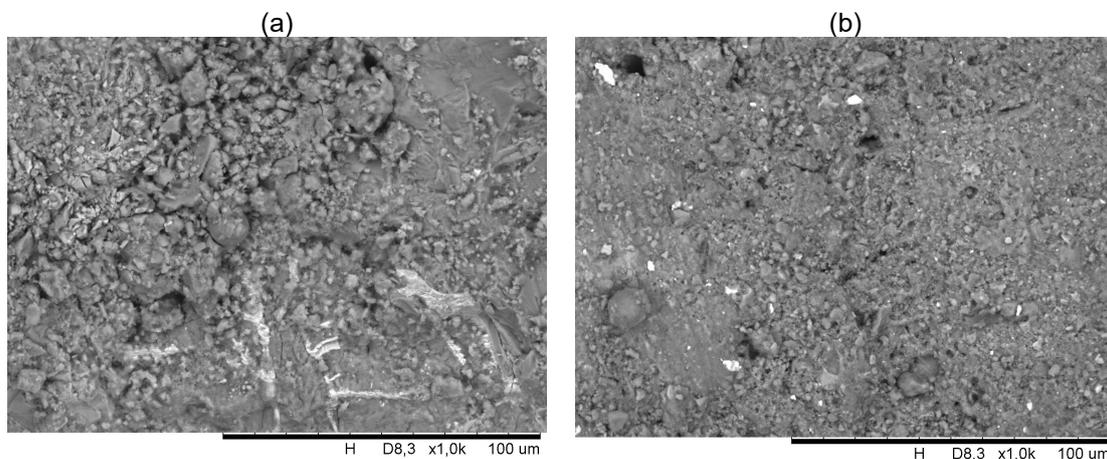


Figura 07 - MEV da argamassa de FAF (a) e CV (b) aos 28 dias.

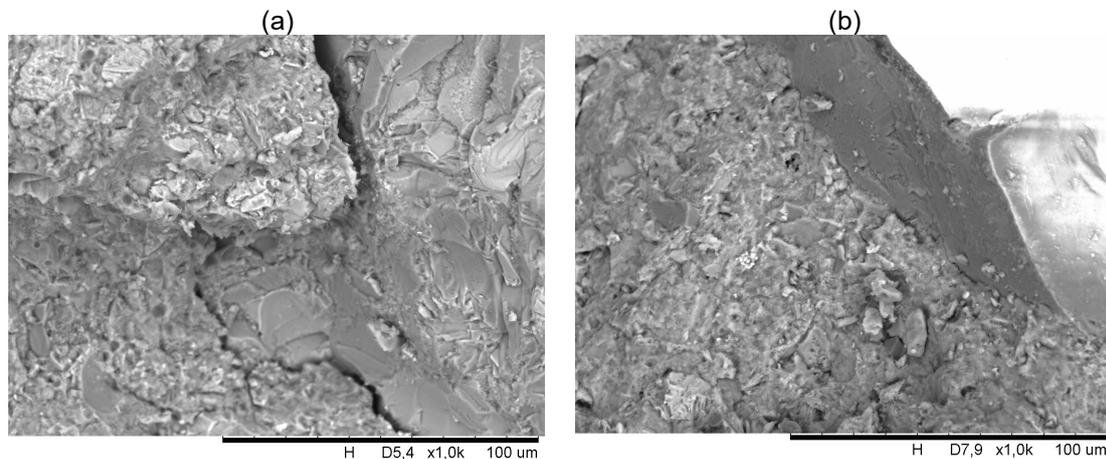


Figura 07 - MEV do concreto CAA-FAF(a) e CAA-CV (b) aos 28 dias.

4 Conclusões

De acordo com os resultados experimentais, as seguintes conclusões pode ser observadas:

- A microscopia eletrônica indicou que as partículas que compõem as CV são mais uniformes em relação ao FAF. A forma irregular e angulosa do FAF demandou maior quantidade de aditivo superplastificante para obtenção da mesma trabalhabilidade, enquanto que CAA-CV necessitou de maior quantidade de finos para controlar a segregação.
- O FAF se mostrou capaz de controlar a exsudação e segregação em argamassas e concretos autoadensáveis no estado fresco.
- A adição de filer de areia de fundição gera maior liberação de calor de hidratação, porém após 25 h a velocidade de hidratação foram semelhantes.
- Os ensaios indicaram acréscimo de resistência à compressão das argamassas quando utilizado FAF na forma de adição mineral (finos), contudo, quando adicionado ao concreto verificou-se decréscimo da resistência mecânica, possivelmente pelo enfraquecimento da zona de transição (fissuração).
- As adições de cinza volante nas argamassas e CAA proporcionaram aumento de resistência em todas as idades analisadas.

Portanto, diante dos resultados apresentados e nas condições ensaiadas, conclui-se que a adição do filer de areia de fundição apresentou propriedades adequadas no estado fresco para uso no concreto autoadensável, contudo, no estado endurecido a resistência à compressão foi reduzida significativamente. Por outro lado, a adição de CV apresentou desempenho superior em todos os quesitos analisados.

5 Referências

ABIFA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FUNDIÇÃO. **Caminho sustentável para as areias descartadas de fundição evolui**. Revista da abifa. São Paulo, p. 20-22, set.2014.

ALENCAR, R.S.A. **Dosagem do concreto auto-adensável: produção de pré-fabricados**. Dissertação - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____.**NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____.**NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____.**NBR 9833**: Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____.**NBR 15823**: Concreto autoadensável - **Parte 1**: Classificação, controle e recebimento no estado fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____.**NBR 15823**: 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: ABNT, 2017.

_____.**NBR 15823**: Concreto autoadensável - **Parte 4**: Determinação da habilidade passante – Método da caixa L e da caixa U. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____.**NBR 15823**: Concreto autoadensável - **Parte 5**: Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BAUER, F. **Materiais de construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

COUTINHO NETO, B. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. Tese - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

DAL MOLIN, D.C.C. **Adições Minerais**. Concreto: ciência e tecnologia. 1.ed. Editor, G.C. Isaía. São Paulo: IBRACON, 2011.

EFNARC - EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **Specification and guidelines for self-compacting concrete**. Maio, 2005.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

GOMES, P.C.C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. Tese de doutorado. Barcelona, 2002.

GOMES, P.C.C.; BARROS, A. R. de. **Métodos de dosagem de concreto autoadensável**. São Paulo: Pini, 2009.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **Pozzolanic and cementitious materials**. London: CRC Pres, 1996.

MANOHARAN, T.; LAKSMANAN, D.; MYLSAMY, K.; SIVAKUMAR, P.; SIRCAR A. **Engineering properties of concrete with partial utilization of used foundry sand**. Waste Management, Vol. 71 (2018), p. 454–460.

MATOS, P. R.; MARCONA, M. F.; SCHANKOSKIB, R. A., PRUDÊNCIO JR, L. R. **Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes**. Journal of Environmental Management, Vol. 244 (2019), p. 294-303.

MATOS, P. R.; PILAR, R.; BROMERCHENKEL, L.H.; SCHANKOSKI, A.R.; GLEIZE, P.J.P.; BRITO, J. **Self-compacting mortars produced with fine fraction of calcined waste foundry sand (WFS) as alternative filler: Fresh-state, hydration and hardened-state properties**. Journal of Cleaner Production, Vol. 252, (2020), p.119871.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**, 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

MONOSI, S.; SANI, D.; TITTARELLI, F. **Used foundry sand in cement mortars and concrete production**. The open waste management journal, Vol. 3 (2010), p.18-25.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PARASHAR, A.; AGGARWAL, P.; Saini, B.; AGGARWAL, Y.; BISHNOI, S. Study on performance enhancement of self-compacting concrete incorporating waste foundry sand. Vol. 251 (2020), p.118875.

PINTO, F. B. **O uso de areia descartada de fundição (ADF) na produção de concreto**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI. Itajubá, 2013.

REPETTE, W. L. **Concreto Autoadensável**. Concreto – Ciência e Tecnologia. Editor, G.C. Isaia. 1ª ed. v. 02. São Paulo: IBRACON, 2011.

ROMANO, R.C.O.; CARDOSO, F.A.; PILLEGGI, R.G. **Propriedades do Concreto no Estado Fresco**. Concreto – Ciência e Tecnologia. Editor, G.C. Isaia. 1ª ed. v. 01. Editora São Paulo: IBRACON. 2011.



Anais do
62º Congresso Brasileiro do Concreto
CBC2020
Setembro / 2020



@ 2020 - IBRACON - ISSN 2175-8182

SANDHU, R. K.; SIDDIQUE, R. **Strength properties and microstructural analysis of self-compacting concrete incorporating waste foundry sand.** Vol. 225 (2019), p. 371-383.

SIDDIQUE, R.; SCHUTTER, G.; NOUMOWE, A. **Effect of used-foundry sand on the mechanical properties of concrete.** Construction and Building Materials. Vol.23 (2009), p. 976-980.

SILVA, W.R.L.; TOCHETTO, E.; PRUDÊNCIO JR., L.R.; OLIVEIRA, A.L. **Influência do emprego de areia de fundição residual nas propriedades no estado fresco e endurecido de misturas cimentícias.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. Vol.4 (2011), p.642-662.

SUA-IAM, G.; MAKUL, N.; CHENG, S.; SOKRAI, P. **Workability and compressive strength development of self-consolidating concrete incorporating rice husk ash and foundry sand waste – A preliminary experimental study.** Construction and Building Materials, Vol. 228 (2019), p.116813.

TUTIKIAN, B.F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis.** Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

TUTIKIAN, B.F. **Proposição de um método de dosagem experimental para concretos auto-adensáveis.** Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007.