



PRODUÇÃO DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM BAIXO CONSUMO DE CIMENTO

Izabella Sant'Ana Storch (*), Lucas da Silva Barboza, Fernando Menezes de Almeida Filho

*Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, storch.engcivil@gmail.com

RESUMO

O concreto é um dos materiais mais consumidos do mundo, sua aplicação é abrangente, além apresentar facilidade para ser produzido. Dentre os diferentes tipos de concreto está o concreto autoadensável (CAA) que caracteriza-se por sua fluidez, não havendo a necessidade de adensamento mecânico, o que barateia sua aplicação. Outra característica desse concreto é a alta demanda por materiais finos, além de alto consumo de cimento. Esta pesquisa teve como objetivo produzir concreto autoadensável com baixo consumo de cimento (CAABCC) mantendo características mecânicas principais adequadas com o uso estrutural. Foram realizados ensaios para verificação das propriedades do CAABCC no estado fresco (espalhamento, caixa-L e funil-V) e endurecido (resistência à compressão, resistência à tração por compressão na diametral e módulo de elasticidade). Os concretos estudados consideram consumos de cimento entre 325 e 434 kg/m³ e resistência à compressão, aos 28 dias, por volta de 70 MPa. De acordo com os resultados, é possível produzir um concreto sustentável, reduzindo o consumo de cimento em até 25% e mantendo características mecânicas principais satisfatórias.

PALAVRAS-CHAVE: Baixo consumo de cimento, concreto autoadensável, propriedades mecânicas, sustentabilidade.

ABSTRACT

Concrete is one of the most consumed materials in the world, its application is comprehensive, and present ease to be produced. Among the different types of concrete is the self-compacting concrete (SCC), which is characterized by its fluidity, and there is no need for mechanical consolidation, which make it cheaper its application. Another characteristic of this concrete is the high demand for fine materials, in addition to high consumption of cement. The objective of this research was to produce self-compacting concrete with low cement consumption (SCCLCC) maintaining adequate main mechanical characteristics with the structural use. Tests were carried out to verify the properties of SCCLCC in the fresh state (spreading, L-box and V-funnel) and hardened (compressive strength, diametral compression tensile strength and modulus of elasticity). The concretes studied consider cement consumption between 325 and 434 kg / m³ and compressive strength, at 28 days, around 70 MPa. According to the results, it is possible to produce a sustainable concrete, reducing cement consumption by up to 25% and maintaining satisfactory main mechanical characteristics.

KEY WORDS: Low cement consumption, self-compacting concrete, mechanical properties, sustainability.

INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável é distinto de outros concretos por suas características no estado fresco como: fluidez, resistência à segregação e ótimas habilidades de passagem, assim sendo, menor demanda de tempo e energia para lançá-lo. O produto final é um concreto com ótimo acabamento e com reduzidos problemas advindos de má execução (OKAMURA, 1997; EFNARC, 2005). Para garantir essas características é necessário alto volume de materiais finos na composição do concreto, atribuído a isso, o consumo de cimento é relativamente alto em comparação ao concreto comum, apresenta valores entre 400-600 kg/m³ segundo EFNARC (2005). No geral, o cimento tem alcançado elevados índices de consumo à níveis mundiais. As principais consequências da grande demanda por produção de cimento são: maior emissão de CO₂ e maior consumo de energia, o que torna o setor da construção civil um dos maiores geradores de impactos ambientais (SNIC, 2014).

Algumas pesquisas têm sido realizadas com o foco de avaliar concretos autoadensáveis com baixo consumo de cimento em sua composição. Porém, observa-se em geral que para reduzirem o consumo de cimento, os pesquisadores complementam a dosagem com outros materiais cimentícios. A fim de realizar comparação entre alguns autores, escolheu-se um indicador de consumo que leva em consideração a resistência à compressão alcançada aos 28 dias e os materiais cimentícios utilizados para dosar esses concretos. Zhao et al. (2015) que usou apenas 276 kg de cimento para 1 m³ de concreto, porém adicionou 184 kg de cinza volante e alcançou 56 MPa de resistência à compressão aos 28 dias, totalizando um consumo de materiais cimentícios de 8,25 kg/m³/MPa. Sebaibi et al., (2013) usou 357 kg/m³ de cimento além de 40 kg/m³ de cinza volante, alcançando 50 MPa de resistência à compressão aos 28 dias, o consumo de material cimentício por m³ por MPa foi de 7,94. Já Liu (2010) empregou 437 kg/m³ de cimento e 80 kg/m³ de cinza volante, atingiu-se 69,7



MPa de resistência à compressão aos 28 dias, o índice de uso de materiais cimentícios foi de 7,4 kg/m³/MPa. Como observado, esse tem sido o caminho tomado pelos pesquisadores para reduzir os impactos ambientais referentes à grande produção de concreto, especificamente, referente à produção do CAA. Porém, outra forma de reduzir o consumo de cimento no CAA é a redução da quantidade de pasta na matriz do concreto. Assim, é diminuído o consumo de finos total, e não só substituído um material por outro. Esse mecanismo de redução de consumo de cimento é estudado nesse artigo.

OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo produzir concreto autoadensável com baixo consumo de cimento (CAABCC), verificar as propriedades desses concretos no estado fresco (espalhamento, caixa-L e funil-V), suas características mecânicas básicas (resistências à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade), bem como breve estudo de viabilidade econômica. Por fim, produzir concreto sustentável ao tornar mais eficiente o uso do cimento na mistura.

METODOLOGIA

Nessa seção será indicada a metodologia seguida para obter as dosagens do concreto autoadensável de referência (CAAR), CAABCC1 e CAABCC2. Foi pré determinado que os concretos teriam relação a/c de 0,4, adição de 10% de sílica ativa e 40% de filler calcário em relação ao consumo de cimento. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Estrutura (LME) do Centro Universitário Adventista de São Paulo – UNASP. Para reduzir o consumo de cimento, foi escolhido o método de redução do teor de pasta na dosagem do concreto, portanto, o CAAR, que é o concreto de referência foi dosado com 40% de volume de pasta, já o CAABCC1 com 32%, e o CAABCC2 com 30% de teor de pasta na dosagem.

Materiais utilizados

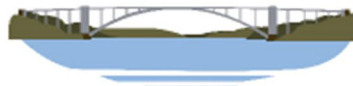
Os materiais utilizados na pesquisa foram escolhidos de acordo com o que é facilmente encontrado na região de Engenheiro Coelho-SP. O cimento empregado foi o CP II-Z 32 da marca Votorantim especificado pela ABNT NBR 11578:1991 (ABNT, 1991). Como agregado graúdo foi utilizado o agregado britado de origem basáltica, com dimensão máxima característica 9,5 mm, e módulo de finura igual a 5,86. Os ensaios de caracterização contemplam a massa específica de 2,878 g/cm³, massa unitária em estado solto de 1,478 (g/cm³), índice de vazios de 44,91% e absorção de água de 2,04%. Se tratando do agregado miúdo, foi usado areia muito fina, com dimensão máxima característica de 0,3 mm, módulo de finura 0,82. Os ensaios de caracterização contemplam a massa específica 2,467 g/cm³, massa unitária em estado solto 1,440 (g/cm³) e índice de vazios 36,45% e absorção de 1,59%.

Como adição mineral, foram selecionados duas adições, a sílica ativa e o filler de calcário. A sílica ativa utilizada foi fabricada pela Tecnosil®, possui massa específica de 2,22 g/cm³, sua superfície específica (BET) é de aproximadamente 19000 m²/kg e tem teor de SiO₂ > 90%. A sílica ativa utilizada tem retenção na peneira #325 (abertura de 45 µm) inferior a 10% (TECNOSIL, 2017). O filler calcário foi fornecido pela empresa BRASIL MINAS®, é um material de cor branca, com diâmetro médio de 45 µm. Sobre as características químicas indicam: 55,17% de CaO, 0,13% de MgO, 0,07% de Fe₂O₃, 0,30% de Al₂O₃ e 0,77% de SiO₂.

Já o superplastificante empregado foi o ADVA™ CAST 525 que se apresenta-se como aditivo de última geração baseado em poliacarboxilatos. Sua aparência é na cor laranja, e tem densidade média de 1,056 g/cm³, segunda informação do fabricante (GRACE, 2017).

Dosagem dos concretos

Dentre os métodos de dosagem de CAA, o método seguido nessa pesquisa foi o de GOMES, GETTU e AGULLÓ (2002). O método pode ser dividido em três fases: determinação da composição da pasta pelo ensaio de funil Marsh (regimentado pela NBR 7681-2:2013 (ABNT, 2013)) e miniabatimento; determinação das proporções dos agregados pelo ensaio de empacotamento; e então composição e produção do concreto avaliando suas características no estado fresco para determinar se é um CAA, por meio do ensaio de espalhamento, caixa-L e funil-V. Dimensões dos aparelhos para a realização desses ensaios e os procedimentos dos mesmos são regidos pela NBR 15823:2017 (ABNT, 2017).



Ensaio no estado fresco

Os concretos dosados e produzidos nessa pesquisa precisaram passar por ensaios para determinar suas características no estado fresco e conferir se estão dentro dos limites indicados pela NBR 15823:2017 (ABNT, 2017). As características avaliadas diz respeito a: trabalhabilidade, habilidade passante, fluidez e resistência à segregação. Para tanto, utilizou-se os testes de espalhamento, caixa-L (Figura 1 a) e funil-V (Figura 1 b).

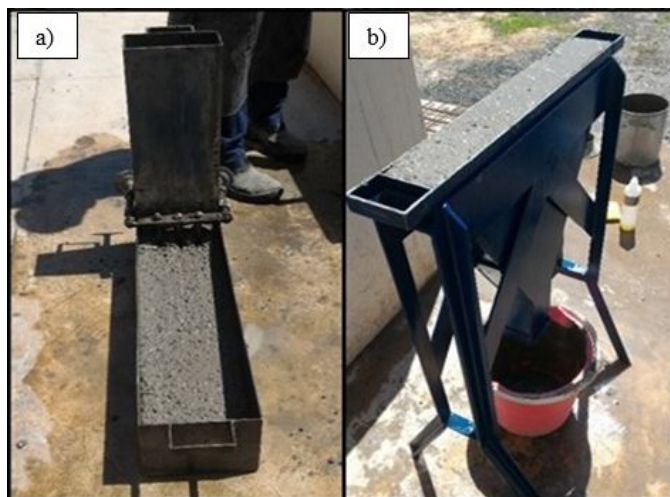


Figura 1: a) Ensaio da caixa-L; b) ensaio de funil-V. Fonte: Storch, 2018.

Ensaio no estado endurecido

Para a verificação das propriedades dos concretos no estado endurecido foram realizados os seguintes ensaios: compressão axial de acordo com a NBR 5739:2015 (ABNT, 2015); ensaio de tração por compressão na diametral de acordo com a NBR 7222:2010 (ABNT, 2010); e ensaio de módulo de elasticidade, segundo a NBR 8522:2008 (ABNT, 2008). Foram moldados 3 corpos de provas com dimensões de 10x20 cm para cada ensaio e idade. Ensaio de resistência à compressão e tração por compressão diametral ocorreram aos 3, 7 e 28 dias. Já os ensaios para obtenção do módulo de elasticidade ocorreram aos 28 dias.

RESULTADOS

Nessa seção são indicados os resultados obtidos nos ensaios, tanto de dosagem dos concretos, como no estado fresco e estado endurecido.

Determinação da composição da pasta

Foi realizado um estudo para verificar se a porcentagem escolhida de filer calcário (40% em relação ao consumo de cimento) apresenta bons resultados no estado fresco em termos de fluidez. Essa etapa foi realizada concomitantemente com o ensaio de funil Marsh para a obtenção do teor ótimo de superplastificante, os resultados são apresentados na Tabela 1, e estão de acordo com o indicado por Gomes (2002) em que o espalhamento deve estar entre 170 e 190 mm, e o tempo T_{115} deve ser entre 2 e 4 segundos. Na Figura 2 observa-se o ensaio de miniabatimento para pasta com 40% de filer calcário e 2% de adição de superplastificante.

Tabela 1. Resultados obtidos ensaios de fluidez e miniabatimento a/c 0,4.

Fonte: Storch, 2018.

SA/C (%)	10
FC/C (%)	40
SP/C (%) - saturação	2,00
Espalhamento (mm)	189,00
T_{115}	2,00
Densidade (g/cm ³)	2,06

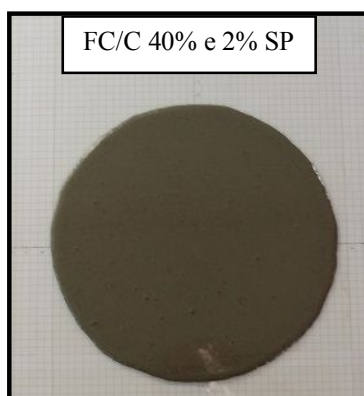
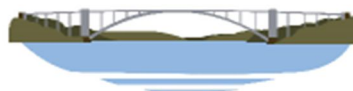


Figura 2: Ensaio de miniabatimento. Fonte: Storch, 2018.

De acordo com o observado na Figura 2, conclui-se que a adição de 40% de filer calcário em relação ao consumo de cimento na composição da pasta apresentou resultados dentro dos limites estipulados sem gerar prejuízos à fluidez da pasta, portanto, essa porcentagem de adição de filer calcário mostra-se adequada.

O teor ótimo de superplastificante foi determinado através dos ensaios de funil Marsh (Figura 3 a), pelo método AFREM que é melhor explicado por Castro (2007), que trata-se da montagem de uma curva em escala logarítmica do tempo de fluidez *versus* teor de superplastificante na mistura. O resultado é obtido na curva traçado para o tempo de 10min e pelo ponto que é tangenciado por uma reta de inclinação 2:5. O resultado é apresentados na Figura 3 b.

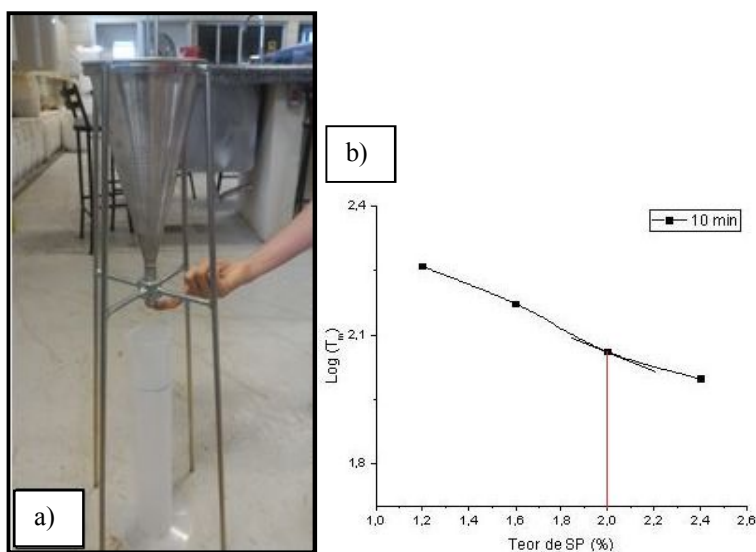


Figura 3: a) Aparato para realizar ensaio de Funil Marsh; b) Curva para obtenção do teor ótimo de superplastificante. Fonte: Storch, 2018.

O ponto de saturação para o superplastificante, ou seja, em que maior adição de superplastificante não implicará em melhoria na fluidez, foi obtido de acordo com a Figura 3 b, e resulta em 2%.

Empacotamento dos agregados

O ensaio de empacotamento foi realizado de modo que se alcance o menor índice de vazios e maior massa unitária, fazendo a mistura com variados teores de agregados, a cada mistura afere-se a massa do material colocado em recipiente de volume conhecido. A proporção areia/brita (Figura 4) obtida é adequada pois leva em consideração a textura, formato, densidade e granulometria dos agregados, o teor de vazios é referência para a determinação do teor de pasta na mistura para obtenção do concreto (GOMES, GETTU e AGULLÓ, 2002).

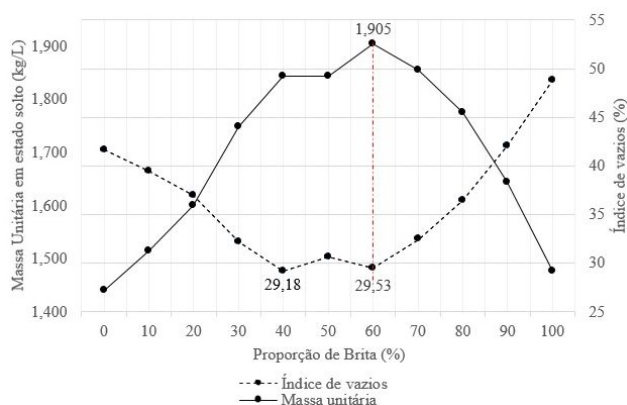
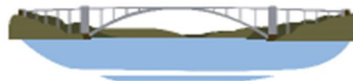


Figura 4: Resultados do ensaio de empacotamento dos agregados. Fonte: Storch, 2018.

A escolha da melhor composição de agregados graúdo e miúdo foram de acordo com a maior massa unitária obtida de 1,905 kg/L, com respectivo índice de vazios de 29,53%. A composição de agregados para essa condição tem 60% de agregado graúdo e 40% de agregado miúdo. Essa foi, portanto, a composição dos agregados fixada para a dosagem dos CAA.

Etapa concreto

Após verificação do teor de adição de filer calcário, determinação do teor ótimo de superplastificante e estudo de melhor composição dos agregados, realizou-se os cálculos para composição das dosagens de concreto em que se variou o teor de pasta. Os cálculos podem ser melhor verificados em Storch (2018). Na Tabela 2 apresenta-se a composição das dosagens finais utilizadas nesse estudo.

Tabela 2. Consumo de materiais por m³ de concreto.

Fonte: Storch, 2018.

Material	CAAR	CAABCC1	CAABCC2	
Cimento (kg)	434,06	347,25	325,54	
Filer calcário (kg)	173,62	138,88	130,20	
Sílica ativa (kg)	43,41	34,72	32,55	
Agregado miúdo (kg)	648,70	735,20	756,82	
Agregado graúdo (kg)	973,06	1102,80	1135,23	
SP/C (%)	2,00	4,50	4,60	
Água (kg)	173,62	138,88	130,20	
Água ab. do agregado graúdo (2,04%) (kg)	19,85	22,50	23,16	
Água ab. do agregado miúdo (1,59%) (kg)	10,32	11,69	12,03	
Massa específica (g/cm ³)	2,430	2,480	2,510	
Ensaio	Limites NBR 15823:2017			
Espalha. (mm)	550 a 850	680,00	755,00	605,00
T ₅₀ (s)	>2	5''56	8''20	10''26
Caixa-L H ₂ /H ₁	≥ 0,80	0,96	0,99	0,96
T ₂₀ (s)	-	1''37	2''68	1''56
T ₄₀ (s)	-	3''44	7''13	5''33
Funil-V (s)	9 a 25	9''25	16''90	16''65

Se tratando do ensaio de espalhamento, a Figura 5 apresenta os concretos dosados. Observa-se que, de acordo com avaliação qualitativa, os mesmos não apresentam segregação, o que seria indicado por acúmulo de agregados graúdos na região central e nata nas bordas.

Ressalta-se que devido à mudança do teor de pasta na dosagem dos concretos CAAR (40%), CAABCC1 (32%) e CAABCC2 (30%) foi necessário maior quantidade de superplastificante nos concretos CAABCC1 e 2 para garantir as características desejáveis para um CAA no estado fresco.

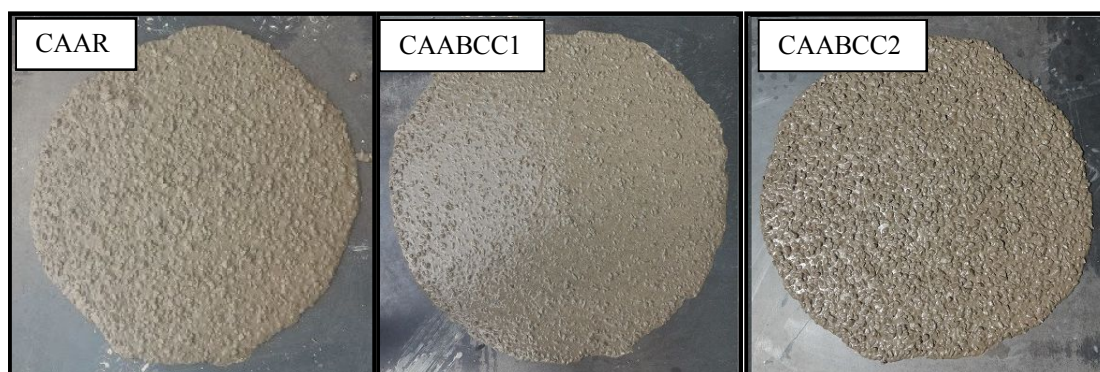
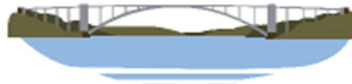


Figura 5: Aspecto dos concretos no estado fresco após ensaio de abatimento. Fonte: Storch, 2018.

Concreto no estado endurecido

Na Figura 6 a), apresenta-se os resultados para o ensaio de compressão para as idades de 3, 7 e 28 dias. Pode ser observado o ganho de resistência ao longo do tempo, bem como o quão próximos ficaram os resultados para os concretos aos 28 dias, mesmo nas dosagens com baixo consumo de cimento. Os concretos CAABCC1 e CAABCC2 apresentaram redução de 1,1% e 3,7% respectivamente na em relação ao CAAR, ou seja, os resultados foram próximos.

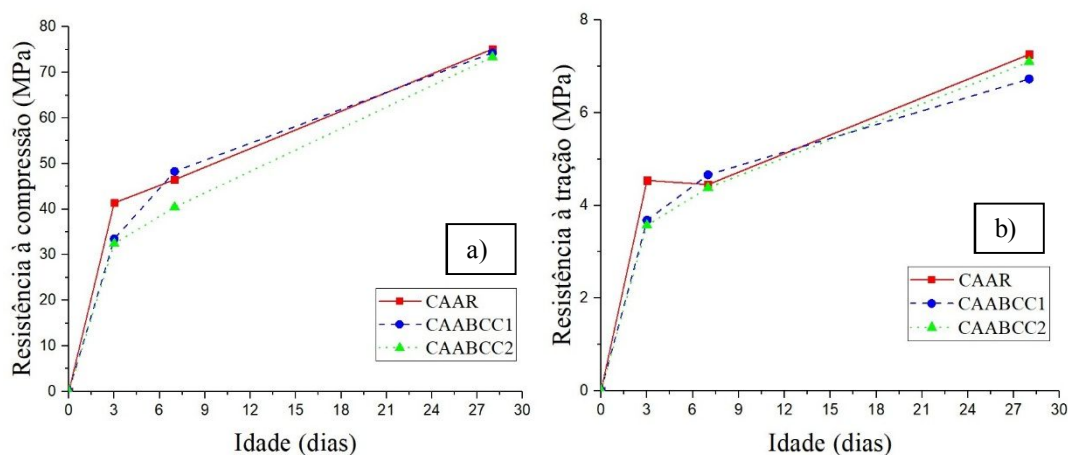


Figura 6: a) Resistência à compressão; b) resistência à tração por compressão diametral (b).
Fonte: Storch, 2018.

Na Figura 6 b) apresenta-se os resultados de resistência à tração por compressão na diametral, aos 28 dias os concretos CAABCC1 e CAABCC2 apresentaram redução de 7,3% e 2,2% em relação ao concreto de referência. Apesar do CAABCC1 apresentar maior redução, ressalta-se que não foi proporcional à redução do consumo de cimento, além do que, é de conhecimento geral que esse ensaio apresenta alta variabilidade de resultados.

Na Figura 7 observa-se os resultados para os concretos referente ao ensaio de módulo de elasticidade.

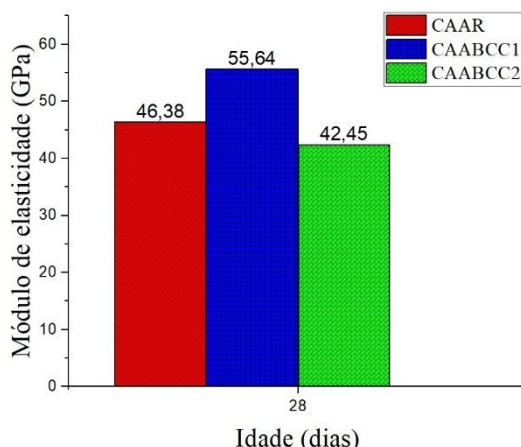
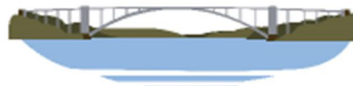


Figura 7: Módulo de elasticidade aos 28 dias. Fonte: Storch, 2018.

O CAABCC1 apresenta 20% de acréscimo no módulo de elasticidade ao comparar com o CAAR, já o CAABCC2 apresou redução de 8,5%.

Seguindo o indicativo de consumo de cimento já apresentado na introdução, na Tabela 3 encontra-se a comparação entre o consumo de cimento por m³ entre os concretos e o consumo de materiais cimentícios, além dos indicadores de consumo de materiais cimentícios para cada dosagem, e seus respectivos percentuais de redução de consumo de materiais cimentícios.

Tabela 3. Comparação em relação ao consumo de materiais cimentícios. Fonte: Adaptado de Storch, 2018.

	Consumo de cimento (kg/m ³)	Consumo de sílica ativa (kg/m ³)	Redução de consumo de materiais cimentícios (%)	f _{cm,28} (MPa)	C _r (kg/m ³ /MPa)	Redução de consumo de materiais cimentícios/MPa (%)
CAAR	434,06	43,41	-	75,14	6,44	-
CAABCC2	347,25	34,72	20,00	74,29	5,14	20,20
CAABCC3	325,54	32,55	25,00	72,39	4,95	23,13

C_r=Consumo relativo de materiais cimentícios.

Nota-se que para os concretos CAABCC1 e CAABCC2, os percentuais de redução de consumo de materiais cimentícios em relação ao CAAR (20,00 e 25,00%, respectivamente), ficaram bem próximos dos percentuais de redução do consumo de materiais cimentícios por m³ por MPa (20,20% e 23,13%, respectivamente). De acordo com a Tabela 3 também conclui-se que todos os concretos dosados, mesmo o de referência, alcançaram índice de consumo de materiais cimentícios baixos, menores do que os autores já mencionados (Zhao et al. (2015), 8,25 kg/m³/MPa; Sebaibi et al. (2013), 7,94 kg/m³/MPa; e Liu (2010), 7,40 kg/m³/MPa), o que coloca esses concretos desta pesquisa entre aqueles com menores índices de consumo de materiais cimentícios encontrados na literatura.

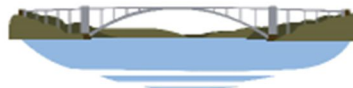
Viabilidade econômica e ambiental

Para a avaliação econômica dos concretos propostos nessa pesquisa, será levado em consideração os custos de cada material empregado na produção dos mesmos. Na Tabela 4 observa-se os custos dos materiais para o ano de 2017 na região de Engenheiro Coelho – SP.

Tabela 4. Custo unitário (R\$/kg). Fonte: Autores do trabalho, 2019.

Cimento	Fíler Calcário	Sílica ativa	Agregado miúdo	Agregado graúdo	Superplastificante
0,40	0,75	1,15	0,057	0,064	7,00

Na Tabela 5 apresenta-se os custos de cada material para a produção de 1 m³ de concreto de cada dosagem estudada, bem como o custo total.

Tabela 5. Custo para produção de 1 m³ de concreto. Fonte: Autores do trabalho, 2019.

Materiais	CAAR		CAABCC1		CAABCC2	
	Quant. (kg)	Preço (R\$)	Quant. (kg)	Preço (R\$)	Quant. (kg)	Preço (R\$)
Cimento	434,06	173,62	347,25	138,90	325,54	130,21
Fíler calcário	173,62	130,21	138,88	104,16	130,20	97,65
Sílica ativa	43,41	49,92	34,72	39,92	32,55	37,43
Agregado miúdo	648,70	36,97	735,20	41,90	756,82	43,13
Agregado graúdo	973,06	62,27	1.102,80	70,57	1.135,23	72,65
Superplastificante	8,68	60,76	15,62	109,38	14,97	104,82
Total (R\$)		513,78		504,85		485,91

Observa-se que apesar dos custos serem próximos, os concretos com baixo consumo de cimento apresetram custos mais baixos que o concreto de referência. O CAABCC1 foi 2% mais barato e o CAABCC2 foi 5,4% mais barato. A redução do consumo de cimento não impactou proporcionalmente a redução no custo final dos concretos principalmente pela necessidade de utilizar mais superplastificante na dosagem para compesar a perda de fluidez ocasionada pela redução do volume de pasta.

Mehta (2009) abordando a sustentabilidade na indústria cimenteira, indicou que para cada tonelada de clínquer produzido, é emitido cerca de 1 tonelada de CO₂ na atmosfera, o que caracteriza-se como 90% da emissão desse gás da indústria do concreto. Indicou, então, três ferramentas para a redução dessa emissão de CO₂, reduzir o consumo de concreto empregando elementos estruturais mais delgados, reduzir o consumo de clínquer no cimento e reduzir consumo de cimento no concreto. Portanto, a redução do consumo de cimento na dosagem de concreto autoadensável, concreto caracterizado pelo alto consumo de cimento e materiais finos, demonstrou-se ser tecnicamente e ambientalmente viável, ao ser produzido concreto com até 25% a menos de cimento na mistura e mesma classe de resistência que o CAAR. Obseva-se que não apenas o consumo de cimento foi reduzido, reduziu-se também o consumo de materiais finos, o que corrobora na redução de recursos econômicos e ambientais na produção desse tipo de concreto.

CONCLUSÃO

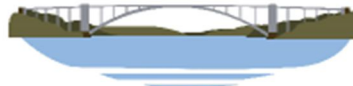
Se tratando das características do estado fresco, os concretos dosados apresentaram resultados dentro dos limites especificados pela NBR 15823:201 (ABNT, 2010), classificando-se como CAA, foram realizados os seguintes ensaios: espalhamento, caixa-L e funil-V. Em relação ao estado endurecido, a resistência à compressão não foi afetada significativamente pela redução do consumo de cimento, o CAABCC1 e CAABCC2 apresentaram respectivamente valores 1,1% e 3,7% menores que CAAR, sendo ainda da mesma classe de resistência (C70). A respeito da resistência à tração por compressão diametral, o CAABCC1 e CAABCC2 apresentaram respectivamente resultados 7,3% e 2,2% menores que o CAAR. No ensaio de módulo e elasticidade, o CAABCC1 apresentou valor 20% maior que o CAAR, já o CAABCC2 apresentou resultado 8,5% menor que o CAAR. De acordo com os resultados, conclui-se que ao reduzir o consumo de cimento em 20% (CAABCC1) e 25% (CAABCC2) não houve redução proporcional em relação às características mecânicas principais. Conclui-se também que os concretos dosados apresentaram baixo índice de consumo de materiais cimentícios, ao se comparar com algumas pesquisas encontradas na literatura. Uma breve avaliação da viabilidade econômica foi realizada levando-se em consideração os custos dos materiais para produção de 1 m³ de concreto. Observou-se que apesar dos custos serem próximos para cada concreto produzido, os concretos com reduzido consumo de cimento apresentaram custos abaixo do CAA de referência. É possível, portanto, usar o CAA de forma mais sustentável, reduzindo seu consumo de cimento e materiais cimentícios e mantendo suas propriedades mecânicas principais.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem ao apoio financeiro da CAPES por meio de bolsa de Mestrado, e ao UNASP por cobrir custos com materiais e ceder seu Laboratório de Estruturas e Materiais – LEM para o desenvolvimento da mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15823**: Concreto autoadensável Parte I: Classificação, controle e aceitação no estado fresco.
- _____. **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991. 6 p.



3. _____. **NBR 8522**: concreto - determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008. 16 p.
4. _____. **NBR 7222**: concreto e argamassa — determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011. 5 p.
5. _____. **NBR 7681-2**: calda de cimento para injeção. Parte 2: determinação do índice de fluidez e da vida útil – método de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 4 p.
6. _____. **NBR 5739**: concreto – ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007. 9 p.
7. BRASIL MINAS (2015). **Pó de calcário, Ficha técnica do produto, 2015**. Disponível em: <<http://www.brasilminas.net/calcario>>. Acesso em: 21 jun. 2015.
8. CASTRO, A. L. **Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho**. 2007. 302 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
9. EFNARC, **European federation of specialist construction chemicals and concrete system**. Specification and guidelines for self-compacting concrete.s.l.: EFNARC, 2005.
10. GOMES, P. C. C; GETTU, R; AGULLÓ, L. **Uma nova metodologia para obtenção de concreto autoadensável de alta resistência com aditivos minerais**. In: IMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2003.
11. GOMES, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2002.
12. GRACE (2017). **Aditivos para concreto**. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/grace/adva_cast525.pdf>. Acesso em: 19 abr.2017.
13. Liu, M., 2010. Self-compacting concrete with different levels of pulverized fuel ash. **Construction and Building Materials**. 24, 1245e1252.
14. MEHTA, P. K. Society, sustainability, and the global concrete industry. Curitiba: IBRACON, 2009. Palestra no 51º Congresso Brasileiro do Concreto.
15. OKAMURA, H. (1997). **Self-compacting high-performance concrete**. **Concrete International**. Vol. 19, n. 7, p. 50-54.
16. Sebaibi, N., Benzerzour, M., Sebaibi, Y., Abriak, N.-E., 2013. Composition of self-compacting concrete (SCC) using the compressible packing model, the Chinese method and the European standard. **Construction and Building Materials**. 43, 382-388.
17. SNIC – **Sindicato Nacional de Indústria do Cimento. Relatório anual de 2013**. Rio de Janeiro: SNIC, 2014. 40 p.
18. STORCH (2018). **Estudo sobre aderência entre barras de aço e concreto autoadensável com baixo consumo de cimento**. 170 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2018.
19. TECNOSIL (2017). **Sílica Ativa** (Ficha técnica do produto). Disponível em: <<http://www.tecnosilbr.com.br/produtos/>>. Acesso em: 20 abr.2017.
20. Zhao, H., Sun, W., Wu, X., Gao, B., 2015. The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. **Journal of Cleaner Production**. 95, 66e74.