



Avaliação técnica da substituição do filler calcário por cinza da casca da castanha de caju no concreto autoadensável

A. R. O. Dias ^{a†}, F. A. Amancio^a, A. E. B. Cabral^a

^a *Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Fortaleza, Ceará, Brasil.*

[†] *Autor para correspondência: rodrigues_alisson@live.com*

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a substituição do filler calcário pela Cinza da Casca da Castanha de Caju (CCCC), nas porcentagens de 10%, 20% e 30% em volume na fabricação de Concretos Autoadensáveis (CAA). No estado fresco foram analisados o espalhamento, caixa-L, funil-V, densidade e teor de ar incorporado. No estado endurecido foi investigado a resistência a compressão aos 3, 7, 28 e 63 dias, ensaio de ultrassom e absorção de água por capilaridade. Os resultados obtidos demonstraram que no estado fresco, à medida em que se aumenta a substituição de filler calcário por CCCC é necessário uma maior quantidade de aditivo superplastificante para manter as propriedades do CAA. No estado endurecido o teor de 30% de CCCC ficou próximo ao valor de referência, no entanto, esta resistência pode ser devido ao aumento do teor de aditivo superplastificante e não apenas à incorporação de CCCC. Além disso, a variação do teor de substituição da CCCC não tem influência na absorção por capilaridade.

1. Introdução

Todo e qualquer produto, mesmo os considerados naturais como as rochas, exerce diferentes impactos no ambiente, podendo gerar problemas ambientais, como: destruição de biomas, alto consumo de energia, liberação de poluentes no ar e cursos de água, além de geração de resíduos sólidos (Agopyan; John, 2011). Assim, novos materiais e sistemas devem ser desenvolvidos na tentativa de reduzir significativamente o impacto ambiental gerado pela indústria da construção civil.

A extração do calcário vem crescendo consideravelmente no Brasil nos últimos anos, causando impactos ambientais incalculáveis (Leite; Silva; Barbosa, 2003; Bacci, Landim, Eston, 2006). A grande maioria das minas de calcário no mundo é lavrada a céu aberto, não sendo diferente no Brasil, assim, o calcário tem seu custo bastante reduzido (Silva, 2009).

As principais etapas da lavra de calcário nessas condições incluem: remoção do capeamento, perfuração, desmonte por explosivos, e transporte até a usina de processamento (Silva, 2009), se tornando um processo prejudicial também para o ciclo local das águas, pois, os afloramentos de calcário recolhem a água das chuvas, e a direcionam aos corpos d'água subterrâneos, funcionando como uma caixa d'água natural e eficaz. Além disso, a extração de calcário, inevitavelmente, desfaz as paisagens e destrói os sítios de interesse espeleológico, arqueológico e indígena (Santi; Filho, 2004).

O reaproveitamento de resíduos agroindustriais como matéria prima na construção civil, em alguns casos, permite a redução dos custos e do consumo de energia na produção de materiais e componentes de construção, além de reduzir o descarte final dos resíduos sólidos ao meio ambiente. Um desses resíduos, é a Cinza da Casca da Castanha de Caju (CCCC), obtida através

do processo de utilização da casca como biomassa em caldeiras, gerando uma grande quantidade de material que é descartada diariamente em aterros sanitários, principalmente na região Nordeste do Brasil.

Em 2017, o Brasil teve uma produção anual de aproximadamente 1,3 milhão de tonelada de castanha de caju. O Nordeste do país é o maior responsável por essa quantidade, com uma parcela de produção de 99,2%. Sendo o Estado do Ceará o maior produtor, com um total de 42,7% da produção, seguido por Rio Grande do Norte (23,3%) e Piauí (22,3%) (IBGE, 2018).

Durante a produção da castanha de caju, tem-se a etapa de decortificação, que consiste no processo de separação da amêndoa e da casca da castanha, gerando elevada quantidade de resíduo, pois a casca representa cerca de 77% do peso da castanha (Leite, 1994). Este material é incorporado novamente ao processo, sendo aproveitado como biomassa, e irá gerar calor para decorticação de novas castanhas. Após ser consumida a altas temperaturas, esse material se decompõe em gases leves e na CCCC, objeto de estudo do presente trabalho (Figura 1).



Figura 1 - Obtenção da CCCC após a utilização da casca da castanha de caju como biomassa.

A cinza é o resíduo colhido da grelha das caldeiras, resultante da queima das cascas. Atualmente, uma parte desse resíduo é utilizada como adubos em plantações de caju e outra parte menor, destinada a aterros sanitários. Este resíduo representa cerca de 5% do peso da castanha inicial (Lima; Rossignolo, 2010), o que parece pouco quando analisado em percentual, mas que, com a atual produção de caju, a geração dessas cinzas pode chegar até 66 mil toneladas por ano no país.

Foi possível encontrar na literatura atual alguns casos de utilização da CCCC no âmbito da construção civil, com o seu aproveitamento em materiais cimentícios (Lima; Rossignolo, 2009a; Lima; Rossignolo, 2009b; Lima; Rossignolo, 2010). Os resultados dessas pesquisas apontaram para a ausência de reatividade pozolânica do resíduo. E, até o momento, não foram observadas pesquisas sobre o aproveitamento da CCCC no Concreto Autoadensável (CAA).

O CAA pode em breve substituir o Concreto Convencional por suas inúmeras vantagens, principalmente por conta do processo de compactação deste ser geralmente realizado por mão de obra não qualificada, e a supervisão desse procedimento é inerentemente difícil (Bui; Akkaya; Shah, 2002; Domone, 2006). Embora o concreto pouco compactado possa ser reparado, a durabilidade geral da estrutura é muitas vezes reduzida (Sua-Iam, Makul, 2013). O CAA pode ser definido como um concreto que pode fluir sob seu próprio peso por conta da energia cinética resultante da sua aplicação sem segregar e preencher todos os espaços independentemente da presença de reforço e a geometria do cofragem, que são obstáculos importantes (Silva, Brito, 2015).

Na produção do CAA, além da necessidade de aditivo superplastificante para melhorar a hidratação das partículas, e assim promover uma maior fluidez à mistura, faz-se necessário o uso

de adições minerais para dar compacidade ao concreto, denominada de efeito filler. Sendo, o pó fino proveniente da rocha calcária o produto mais utilizado como adição mineral (Zhu; Gibbs, 2005; Ghezal, Khayat, 2002). Esse pó fino recebe o nome de filler calcário e pode ser classificado como calcítico ou dolomítico, dependendo da sua composição química (Felekoglu, 2009).

Neste contexto, o presente trabalho visou avaliar tecnicamente a substituição do filler calcário presente na produção de Concreto Autoadensável pela Cinza da Casca da Castanha de Caju, analisando sua influência nas propriedades nos estados fresco e endurecido.

2. Materiais e métodos

2.1. Materiais

Foi utilizado cimento Portland CPII-Z 32 RS, cuja características são apresentadas na Tabela 1. O aditivo foi do tipo superplastificante da linha MasterGlenium ACE 402, composto por carboxilatos, à base de naftaleno sulfonato. Suas demais propriedades podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Características químicas e físicas do cimento utilizado na pesquisa.

Ensaio	Norma	Unidade	Resultado	Especificação – Norma NBR 11578/91
Perda ao fogo	NM 18/12	%	5,99	≤ 6,5
Óxido de Magnésio – MgO	NM 11-2/12	%	4,60	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico – SO ₃	NM 16/12	%	2,74	≤ 4,0
Resíduo Insolúvel	NM 15/12	%	14,58	≤ 16,0
Anidrido Carbônico – CO ₂	11578/91	%	4,61	≤ 5,0
Área específica (Blaine)	16372/15	cm ² /g	4127	≥ 2600 cm ² /g
Massa específica	NM 23/01	g/cm ³	2,96	Não aplicável

Tabela 2 - Propriedades do aditivo.

Propriedade	Resultado
Estado físico	Líquido
Cor	Amarelo claro
Valor do pH	Aprox. 7,0
Densidade	1,150 g/cm ³
Solubilidade em água	100 g/L

Utilizou-se a água do sistema de abastecimento público da cidade de Fortaleza durante todos os ensaios. A areia utilizada foi quartzosa e os agregados graúdos utilizados de origem granítica. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos agregados utilizados.

O filler calcário de cor bege claro, tem teor de CaCO₃ de 95%, e as quantidades máximas retidas de 1% na peneira 200 e de 20% na peneira 325. O resíduo utilizado nesta pesquisa foi cedido por uma indústria de beneficiamento e exportação de amêndoas de castanha de caju localizada na cidade de Fortaleza, Ceará. A composição química da CCCC e suas principais características (comparadas às do filler) são apresentadas nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 3 - Características dos agregados miúdos e graúdos utilizados na pesquisa.

Ensaio	Areia	Brita 0 mm	Brita 1 mm	Norma
Diâmetro máximo característico (mm)	2,36	12,5	19	ABNT NM 248:2003
Módulo de finura (adim)	2,52	5,99	6,84	ABNT NM 248:2003
Massa unitária (g/cm ³)	1,5	1,41	1,37	ABNT NBR NM 45:2006
Absorção de água (%)	0,2	0,89	0,94	ABNT NBR NM 52:2009
Massa específica (g/cm ³)	2,64	2,61	2,61	ABNT NBR NM 52:2009
Material pulverulento (%)	1,7	0,29	0,9	ABNT NBR NM 46:2003

Tabela 4 - Análise química através da Fluorescência de Raios X (FRX) da CCCC.

Óxidos	Amostra (%)
SiO ₂	2,25
Al ₂ O ₃	0,27
Fe ₂ O ₃	3,67
K ₂ O	62,42
CaO	17,56
P ₂ O ₅	7,40
MgO	2,09
SO ₃	1,49
MnO	1,26
Cl	0,61
Rb ₂ O	0,31
CuO	0,30
SrO	0,25
ZnO	0,11

Tabela 5 - Comparativo entre algumas características da CCCC e filler calcário.

Característica	Unidade	CCCC	Filler calcário	Norma/Método
Massa unitária	g/cm ³	0,87	0,97	NBR NM 45:2006
Massa específica	g/cm ³	2,07	2,75	NBR NM 52:2009
Superfície específica	m ² /g	9,70	6,57	
Volume de poros	cm ³ /g	0,025	0,015	Método BET
Raio do poro	nm	1,64	1,64	
Índice de pozolanidade com o cimento	%	40,4	53,1	NBR 5752:2014

2.2. Métodos de pesquisa

A idéia norteadora desta pesquisa foi avaliar as propriedades do concreto autoadensável com a substituição do filler calcário por CCCC nos teores de 10%, 20% e 30% em volume. No estado fresco foram investigados o espalhamento, o T500, caixa L e funil V, conforme os procedimentos da ABNT NBR 15823. Foi fixado o fator a/c em 0,50 e com isso, a quantidade de aditivo foi determinada em função da classe do CAA, sendo dada em porcentagem em relação à massa de cimento. O espalhamento foi de SF2 (espalhamento entre 660 a 750). Esta classe é adequada para a maioria das aplicações correntes, como paredes, vigas, pilares e outras (ABNT NBR 15823-1).

Para o ensaio no estado endurecido, foram moldados corpos de prova cilíndricos de concreto nas dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura para analisar a velocidade de propagação ultrassônica, a resistência a compressão para as idades de 3, 7, 28 e 63 e a absorção de água por capilaridade, afim de se avaliar a qualidade do concreto. O traço de referência utilizado foi obtido através de banco de dados do laboratório, pois já havia sido calculado e estudado previamente. Os traços são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Proporção dos materiais utilizados na mistura de concreto.

Traço	Materiais							a/c
	Cimento	Areia	Filer calcário	CCCC	Brita 12,5mm	Brita 19mm	Aditivo (% massa de cimento)	
Tref	1,0	2,26	0,290	-	0,38	1,54	1,53%	0,50
T10%	1,0	2,26	0,261	0,022	0,38	1,54	1,64%	0,50
T20%	1,0	2,26	0,232	0,044	0,38	1,54	2,35%	0,50
T30%	1,0	2,26	0,203	0,065	0,38	1,54	3,50%	0,50

Para tratamento e análise dos resultados, foi realizado uma Análise de Variância (ANOVA) e Teste de Tukey, realizados com o auxílio do software Statistica 7.0. A ANOVA consiste em um método paramétrico responsável por verificar se há diferença entre distribuição de uma medida entre grupos. Ao ser constatado pela ANOVA que há uma diferença significativa entre as médias dos grupos, foi aplicado um teste de comparações múltiplas, o Teste de Turkey. Esse teste verifica quais os grupos diferem dos demais, ao comparar cada par e reunir grupos com médias significativamente semelhantes.

3. Resultados e discussões

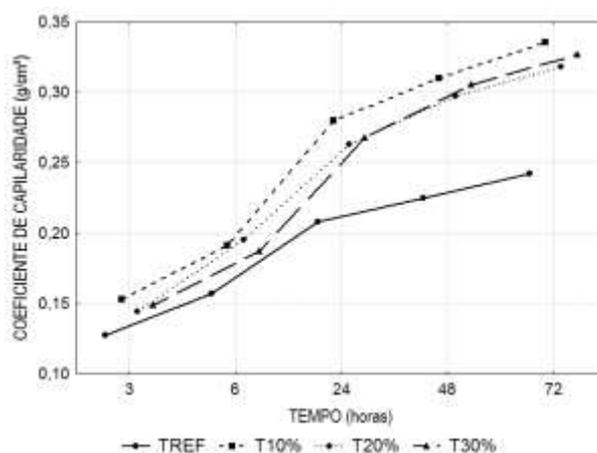
A Tabela 7 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios no estado fresco dos CAA analisados, bem como suas respectivas classificações.

Conforme apresentado, todos os concretos investigados se enquadraram nas mesmas classes (SF2, VS2, PL2 e VF1). Foi constatado um aumento do teor de aditivo com o aumento do teor de substituição do filler calcário por CCCC para possibilitar que permanecessem na mesma classe, isso se deu, por conta da alta superfície específica do resíduo em relação ao filler calcário, pois quanto maior a área específica do material, maior é a demanda de água necessária para que se atenda os requisitos exigidos em relação à auto-compactabilidade e reologia (Esping, 2003). A densidade no estado fresco reduziu com o aumento de aditivo no concreto, e conseqüentemente houve um maior teor de ar incorporado.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios no estado fresco do CAA.

Traço	a/c	Aditivo (%)	Espalhamento (mm)		T500(s)		Caixa L (Adimen)		Funil V (s)		Densidade (g/cm ³)	Teor de ar incorporado (%)
			Res.	Class.	Res.	Class.	Res.	Class.	Res.	Class.		
TREF	0,5	1,53	660	SF2	2,53	VS2	0,84	PL2	6,1	VF1	2208,38	5,30
T10%	0,5	1,64	660	SF2	3,01	VS2	0,82	PL2	5,45	VF1	2189,25	5,90
T20%	0,5	2,35	670	SF2	3,42	VS2	0,87	PL2	4,68	VF1	2144,38	6,30
T30%	0,5	3,50	660	SF2	4,55	VS2	0,8	PL2	8,6	VF1	2131,88	6,70

Os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água por capilaridade na idade de 28 dias, pode ser observado na Figura 2. Apesar do traço de referência apresentar menores valores absolutos em todos os tempos analisados, o teste de Tukey realizado afirma que essa diferença não é significativa, de forma que o teor de adição de CCCC não ocasionou influência no coeficiente de capilaridade do concreto aos 28 dias de idade.

**Figura 2** - Coeficientes de capilaridade.

O método da propagação de pulsos de ultrassom foi utilizado para avaliar a homogeneidade do concreto e, conseqüentemente avaliar sua qualidade. As heterogeneidades como fissuras, vazios, concreto deteriorado, variações nas proporções da mistura etc causam variações na velocidade dos pulsos de ultrassom (Savva; Manita, 2005). A Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio.

Tabela 8 - Resultado do ensaio de ultrassom nos corpos de prova de concreto.

Idade (dias)	Traço	Velocidade ultrassônica (m/s)	Qualidade do concreto conforme a velocidade (Silva Filho; Campagnolo, 2001)
28	Tref	4738	Excelente
	T10%	4735	Excelente
	T20%	4733	Excelente
	T30%	4577	Excelente

Essa classificação da qualidade do concreto foi estabelecida experimentalmente para concreto normal com densidade de aproximadamente 2400 kg/m³ (Silva Filho; Campagnolo, 2001). Conforme essa classificação, todos os traços analisados apresentaram velocidade acima de

4500 m/s o que classifica a qualidade do concreto como Excelente.

Em relação a resistência à compressão, foi realizada uma análise de variância (ANOVA) e observado que o teor de substituição da CCCC pelo filler calcário tem influência significativa na resistência à compressão. A Tabela 9 apresenta o resultado da ANOVA.

Tabela 9 - Análise da variância da resistência à compressão.

Efeito	SQ	GL	MQ	F	Valor - P	Significância
Teor de substituição (%)	257,13	3	85,71	45,14	0,000000	S
Idade (dias)	438,07	3	146,02	76,91	0,000000	S
Interação teor de substituição – Idade	123,14	9	13,68	7,21	0,000009	S
Erro	64,56	34	1,90		-	-

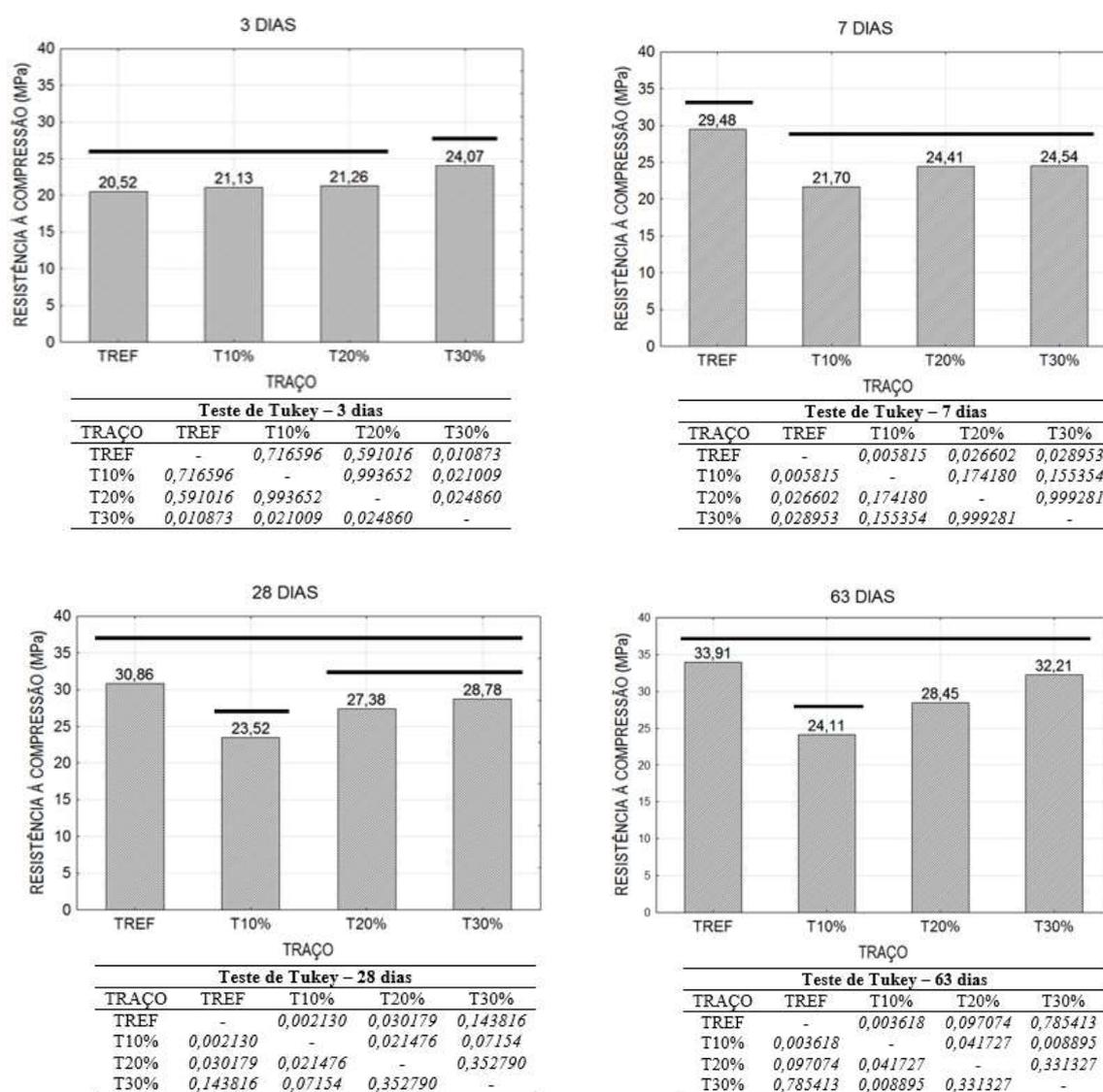


Figura 3 - Valores médios de resistências à compressão por idade.

As Figuras 3 e 4 apresentam as médias dos resultados de resistência à compressão obtidos após rompimento dos corpos de prova em diferentes idades. Na idade de 03 dias é possível observar que o traço T30% adquire resistência superior aos demais, inclusive ao traço de referência. Este fato ocorreu, possivelmente, por conta do alto teor de aditivo utilizado, sendo responsável por aumentar a dispersão das partículas, acelerando as reações de hidratação do cimento. A partir da idade de 07 dias, o concreto produzido com o traço de referência passa a apresentar os maiores valores médios absolutos, entretanto na idade de 28 dias, o teste de Tukey afirma que não há diferença significativa entre as médias do traço de referência e do T30%. E aos 63 dias, o T20% também passa a não ter diferença significativa em relação à eles. O traço T10% apresenta a partir dos 28 dias, os menores valores médios para resistência à compressão.

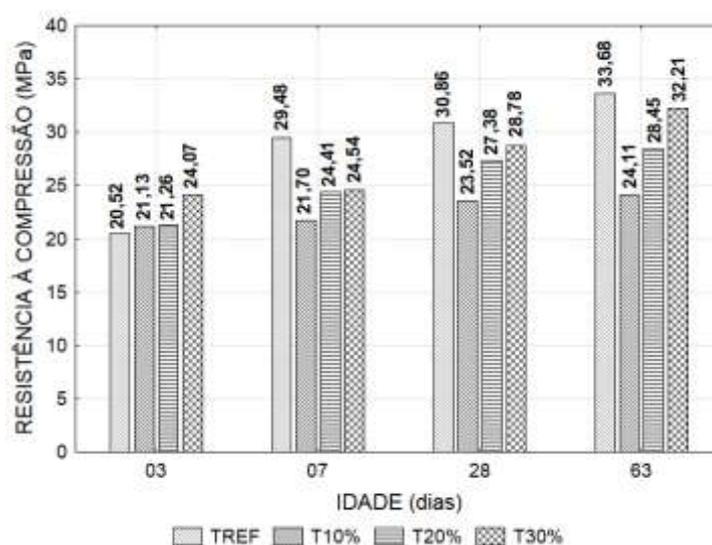


Figura 4 - Comparativo entre os valores médios de resistências à compressão por idade.

4. Considerações finais

Com a realização desta pesquisa, buscou-se substituir o *filler* calcário, reduzindo os impactos ambientais gerados pela sua extração, pela Cinza da Casca da Castanha de Caju, resíduo proveniente da indústria de caju na produção de Concreto Autoadensável.

Quanto ao concreto no estado fresco, pode-se concluir que os concretos com maiores teores de CCCC exigiram uma maior quantidade de aditivo superplastificante para manter a mesma classificação do concreto de referência, conforme apresenta a NBR 15823-1:2010 – Concreto Autoadensável – Parte 1, ocasionando um aumento do custo de produção da mistura. Além disto, os concretos com maiores teores de aditivos apresentaram menor densidade e maior teor de ar incorporado.

Quanto ao concreto no estado endurecido, a variação do teor de substituição da CCCC não tem influência na absorção por capilaridade dos concretos produzidos. Em relação a resistência à compressão é possível observar que a CCCC como substituição do *filler* calcário tem características que colaboram para a perda de resistência no Concreto Autoadensável. No entanto, sugeri-se a realização de novos estudos no intuito de investigar o comportamento da resistência à compressão fixando a quantidade de aditivo e alterando a relação a/c, afim de se confirmar se o aumento da resistência está ligado ao aditivo ou tem alguma contribuição da CCCC.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil (PEC) e ao Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal do Ceará – UFC. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- Agopyan, V. e John, V. M. John, *O desafio da sustentabilidade na construção civil*, v. 5. São Paulo: Blucher. 2011.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 11768. Aditivos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro. 1997.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15.823-1: Concreto auto-adensável - parte 1: classificação, controle e aceitação no estado fresco. Rio de Janeiro. 2010.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15.823-2: Concreto auto-adensável - parte 2: determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - método do cone de Abrams. Rio de Janeiro. 2010.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15.823-4: Concreto auto-adensável - parte 4: determinação da habilidade passante - método da caixa L. Rio de Janeiro. 2010.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15.823-5: Concreto auto-adensável - parte 5: determinação da viscosidade - método do funil V. Rio de Janeiro. 2010.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15823-1: Concreto auto adensável – Classificação, controle e recebimento no estado fresco, Rio de Janeiro. 2017.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5.738: Concreto: procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2007.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5.739: Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5752. Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 8802. Concreto endurecido – determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica”, Rio de Janeiro. 1994.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 9.779: Argamassa e concretos endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 1995.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR NM 45: Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR NM 46 – Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro. 2003.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro. 2009.
- Bacci, D. L. C. Landim, P. M. B e Eston, S. M. Aspectos e impactos ambientais de pedreira em área urbana, *Revista da Escola de Minas de Ouro Preto*, Ouro Preto, v. 59(1), p. 47-54. 2006.
- Bui, K.V.; Akkaya, Y. e Shah, P. S. Reological model of self-consolidating concrete, *ACI Materials Journal*, v. 99(6), p. 549-559. 2006.
- Domone, J. L. P. Self-compacting concrete: an analysis of 11 years of case studies, *Cement and concrete composites*, v. 28(2), p. 197-208. 2006.

- Esping, O. Methods for characterization of fillers and fines for self-compacting concretes. Edição: O. Wallevik, I. Nielsson, *Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, 3rd, 2003, Reykjavik, Iceland, p. 540-550. 2003.
- Felekoglu, B. A new approach to the characterisation of particle shape and surface properties of powders employed in concrete industry, *Construction and Buildings Materials*, v. 32(2), p. 1154-1162. 2009.
- Ghezal, A. F., e Khayat, K.H.; Optimizing self-consolidating concrete with limestone filler by using statistical factorial design methods, *ACI Materials Journal*, v. 99(3), p. 264-272. 2002.
- Hartmann, C.T., e Helene, P. R. L. Avaliação de aditivos superplastificantes base policarboxilatos destinados a concretos de cimento Portland, *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, São Paulo: EPUSP. 2003.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil (2018)*. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>. Acesso em: mar 2018.
- Leite, L. A. S. *A agroindústria do caju no Brasil: políticas públicas e transformações econômicas*, Fortaleza: EMBRAPA CNPAT. 1994.
- Leite, L. S. A.; Silva, C. M. G. e Barbosa, R. S. Análise ergonômica no processo produtivo da extração de calcário laminado - estudo de caso, *XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Ouro Preto. 2003.
- Lima, S. A. e Rossignolo, J. A. Análise da pozolanicidade da cinza da casca da castanha de caju pelo método de difratometria de raios X, *Revista Matéria*, v. 14(1), p. 680-688. 2009b.
- Lima, S. A. e Rossignolo, J. A. Avaliação da estabilidade dimensional e da durabilidade de argamassas confeccionadas com adição de cinza da casca da castanha de caju v. 3(1), p. 22-29. 2009a.
- Lima, S. A e Rossignolo, J.A. Estudo das características químicas e físicas da cinza da casca da castanha de caju para uso em materiais cimentícios, *Maringá*, v. 32(4), p. 383-389. 2010.
- Moosberg, B. H.; Lagerblad, B.; Forsberg, E. The function of fillers in concrete. *Materials and Structures*, v. 37, pp 74-81. 2004.
- Santi, A. M. M. e Filho, A. O. *Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento; casos na região do calcário ao norte de Belo Horizonte e possíveis generalizações*, Universidade de Campinas. Campinas. 2004.
- Savva, A.; Manita, P. e Sideris, K.K. Influence of elevated temperatures on the mechanical properties of blended cement concretes prepared with limestone and siliceous aggregates, *Cement and Concrete Composites*, v. 27, p. 239-248. 2005.
- Silva Filho, L.C.P., e Campagnolo, J. L. Ensaios de avaliação de estruturas acabadas, *Caderno LEME 07*, Escola de Engenharia, UFRGS. 2001.
- Silva, J. O. Produto RT 55, Perfil do calcário agrícola, *Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral*, Banco Mundial: Projeto Estal. 2009.
- Silva, P. R. e Brito, J., Experimental study of the porosity and microstructure of self-compacting concrete (SCC) with binary and ternary mixes of fly ash and limestone filler, *Construction and Building Materials*, v. 86, p. 101-112. 2015.
- Sua-Iam, G. e Makul, N. Use of increasing amounts of bagasse ash waste to produce self-compacting concrete by adding limestone powder waste, *Journal of Cleaner Production*, v. 57, p. 308-319. 2013.
- Zhu, W. e Gibbs, J.C.; Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete, *Cement and Concrete Research*, v. 35(8), p. 1457-1462. 2005.