

Influência das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar nas propriedades mecânicas do concreto

Influence of sugarcane bagasse ash on mechanical properties of concrete

Liliane Rodrigues Congro da Rocha(1); Marina Martins Mennucci(2); Patricia Hatsue Suegama(3)

1 Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MT, Brasil.

E-mail: lilianerocha@ufgd.edu.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5464-6398>

2 Universidade de Aveiro (UA), Aveiro, Aveiro, Portugal.

E-mail: marinamennucci@ua.pt | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7188-6804>

3 Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Dourados, MS, Brasil.

E-mail: patriciasuegama@ufgd.edu.br | ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9421-8454>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 8, n. 2, p. 11-25, julho-dezembro, 2021 - ISSN 2358-6508

[Recebido: setembro 26, 2020; Aceito: março 31, 2021]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2021.v8i2.4316>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Aline Zanchet

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

Resumo

As cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) vêm sendo utilizadas como material sustentável em substituição do cimento e empregadas na produção de concreto e argamassas. Esse trabalho avaliou por meio de ensaios de resistência mecânica e absorção de água, a possibilidade de utilizar as CBC (secas e peneiradas) na produção de concreto, substituindo parcialmente o cimento em 0, 10, 20 % para efeitos comparativos, e analisou o ensaio de resistência mecânica em corpos de prova de pastas cimentícias e corpos de prova de concreto. Foi realizado a caracterização química das cinzas após a secagem e peneiração, e verificou-se que essas cinzas são ricas em sílica. Apesar do aumento da absorção de água nos corpos de prova de concreto, a resistência à compressão obteve um aumento de 30 % com a substituição de 10 % de cimento por CBC e substituindo 20 % de cimento por CBC, a resistência à compressão obteve o mesmo valor da amostra sem CBC, além de que após comparação com ensaios nos corpos de prova de pastas cimentícias, pode-se concluir que as CBC atuam no concreto mais como *filler* do que como material pozzolânico.

Palavras-chave: Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC). Concreto. Resistência mecânica. Sustentabilidade. *Filler*.

Abstract

Sugarcane bagasse ashes (SCBA) have been used as a sustainable material to replace cement in the production of concrete and mortars. This work evaluated through mechanical resistance, and water absorption tests the possibility of using SCBA (dry and sieved) in the production of reinforced concrete, partially replacing cement at 0, 10, 20 % for comparative purposes, and analyzed the mechanical resistance tests in cementitious specimens and concrete specimens. The chemical characterization of the ashes was carried out after drying and sieving the ashes, and it was verified that these ashes are rich in silica. Despite the increase in water absorption in the concrete specimens, the compressive strength obtained an increase of 30 % with the replacement of 10 % cement by CBC and replacing 20 % cement by CBC, the compressive strength obtained the same value of the sample without CBC, besides that after comparison with tests on the cementitious paste specimens, it can be concluded that the CBC act in the concrete more as a filler than as a pozzolanic material.

Keywords: Sugarcane bagasse ashes (SCBA). Concrete. Mechanical resistance. Sustainability. Filler.

1 Introdução

A utilização de resíduos na construção civil gera benefícios para o meio ambiente e quando bem planejada também pode ser lucrativa. Atualmente a reutilização de resíduos para a produção de concreto é uma tendência mundial, pois a indústria cimentícia consome energia e matérias-primas, as quais são finitas, resultando em aquecimento global e grandes aterros para extração dos insumos (ISAIA, 2011).

Um promissor candidato à substituição parcial do cimento na produção do concreto é o resíduo da indústria sucroalcooleira – as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC). As CBC são conhecidas por serem um material inerte com grande quantidade de silicatos, aluminatos e pobre em minerais (PAYÁ et al., 2018). A substituição parcial do cimento por CBC no concreto e a sua utilização nos canteiros de obra contribui com o meio ambiente e além disso gera impactos tecnológicos, científicos, sociais e econômicos, contribuindo com a sustentabilidade (ALMEIDA et al., 2019; LIMA et al., 2012; MORETTI; NUNES; SALES, 2018; PEREIRA et al., 2015).

A maioria das substituições utilizam algum tratamento nas CBC, como moagem, queima regular, entre outros, que acabam encarecendo o processo produtivo, requerendo uma quantidade maior de energia e tempo, tornando as CBC menos viáveis ambiental e economicamente. Portanto, esse estudo considerou o uso das CBC (somente secas em estufa e peneiradas), praticamente da forma que são retiradas da usina, com o mínimo processo de beneficiamento. Agregar valor ao resíduo bruto das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, transformando-os em subprodutos, pode gerar novos postos de trabalho e a criação de um novo nicho econômico para a indústria sucroalcooleira, a qual deve cumprir a Política Nacional de Resíduos Sólidos – Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010), que determina a destinação adequada destes resíduos como obrigatória e seu descumprimento pode resultar em multas e/ou sanções econômicas.

Considerando que o futuro da construção civil consiste em utilizar materiais menos agressivos ao meio ambiente (HABERT et al., 2020) com menor custo e maior qualidade, o objetivo desse trabalho é o de apresentar as CBC como alternativa para substituir parcialmente o cimento, sem alteração da resistência mecânica.

2 Materiais e Métodos

2.1 Cimento

O cimento CPV ARI (Cimento Portland Tipo V – Alta Resistência Inicial) foi escolhido por conter menor teor de adições ativas entre os produtos disponíveis no mercado nacional. O cimento CPV ARI utilizado atende a NBR 5.733 (ABNT, 1991). Apesar da produção do cimento poder conter algumas variações entre lotes (GIRARDI, 2014), optou-se por utilizar a massa específica fornecida pelo fabricante de $3,12 \text{ g cm}^{-3}$.

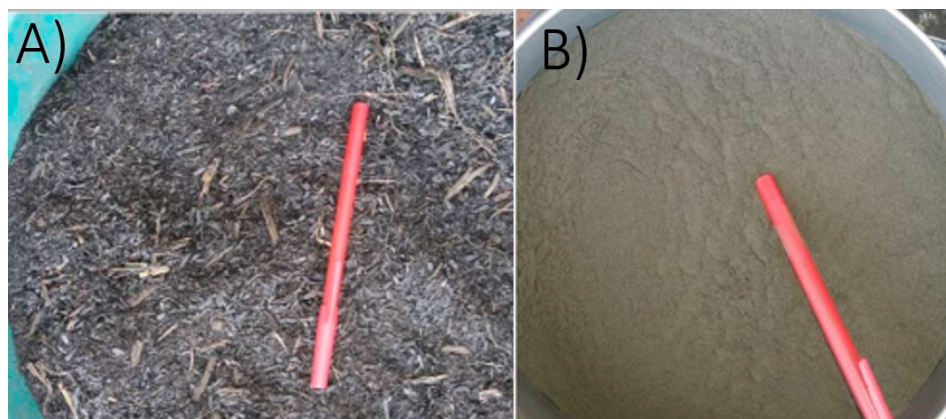
2.2 Agregados

O agregado miúdo utilizado foi a areia fina e o agregado graúdo foi do tipo pedra britada de rocha basalto de tamanho 0. Fez-se a caracterização granulométrica seguindo a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

2.3 Cinzas do bagaço de cana-de-açúcar (CBC)

As CBC foram coletadas diretamente da esteira da caldeira da usina. As cinzas foram colocadas na estufa a 100 °C durante 24h para secagem (Figura 1A) e após este procedimento foram peneiradas manualmente com peneira de malha quadrada de 0,15 mm (#200) (Figura 1B). Mediu-se a massa específica das cinzas peneiradas (Figura 1B) conforme procedimento da NBR 16.605 (ABNT, 2017), utilizando como reagente o querosene livre de água e 30 g de CBC peneiradas e secas (#200). O valor encontrado foi de 2,47 g cm⁻³.

Figura 1 – Imagens das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar: A) após 24 h em estufa a 100 °C e B) peneiradas manualmente com peneira de malha quadrada 0,15 mm (#200)



Fonte: Próprio autor.

A morfologia das partículas foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Utilizou-se um microscópio Zeiss Supra 35VP com canhão de emissão de elétrons por efeito de campo (FEG-SEM), trabalhando de 3 a 10 keV e spot 3. A amostra sólida foi dispersa em água com auxílio de um banho ultrassônico por 3 min. A dispersão foi gotejada em substrato de alumínio e por último, as amostras foram secas em estufa a 40 °C por 12 h, este procedimento permitiu que as amostras estivessem livres de umidade. As amostras depois de secas foram afixadas no *stub* (suporte metálico) com fita carbono e em uma das extremidades foi aplicado tinta prata para fazer o contato elétrico entre o substrato e *stub*, esse procedimento auxilia na condução dos elétrons que chegam até a superfície do material, contribuindo para uma imagem sem interferência e de melhor qualidade e resolução.

Foram realizadas análises de EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy* - EDS) trabalhando em 25 keV. A identificação da composição mineralógica e estrutura cristalina das CBC foi analisada por meio da técnica de difração de raios X utilizando um difratômetro Rigaku, modelo DMax 2500PC, com radiação de CuK α ($\lambda = 1,5406$ Å) operando com voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, fenda divergente 1,0 mm, fenda de coleta 0,2 mm, velocidade de varredura de $0,2^\circ \text{ min}^{-1}$, em 2θ e acumulação para leitura a cada 0,02 segundos, operando na faixa de 2θ de 10 a 100 graus. Os difratogramas obtidos foram analisados a partir dos padrões de difração encontrados nas fichas cristalográficas e as fases cristalinas foram identificadas por comparação entre as intensidades e as posições dos picos de Bragg com aqueles das fichas padrão JCPDS-ICDD.

2.4 Pastas cimentícias

Foram preparados 4 corpos de prova de pastas de cimento de cada amostra, da seguinte forma: (REF-PC) com 100 % CPV; (10CBC-PC) com 90 % CPV e 10 % CBC e (20CBC-PC) com 80 % CPV e 20 % CBC, com relação água/cimento (a/c) estipulada em 0,5. Calculou-se o volume necessário para a moldagem dos corpos de prova para a realização de todos os ensaios de (REF-PC) e utilizando a equação de volume, calculou-se a massa de cimento (1200 g). Conhecendo a densidade específica do cimento ($3,12 \text{ g cm}^{-3}$) e das CBC ($2,47 \text{ g cm}^{-3}$), foi possível calcular a massa na confecção dos corpos de prova de pastas cimentícias com 10 % de CBC conforme equação (1):

$$V_{total} = \frac{0,9 m}{3,12} + \frac{0,1 m}{2,47} \text{ Eq. (1)}$$

O mesmo cálculo foi realizado para os corpos de prova com 20 % de CBC, conforme a equação (2):

$$V_{total} = \frac{0,8 m}{3,12} + \frac{0,2 m}{2,47} \text{ Eq. (2)}$$

Foram preparados 4 corpos de prova de cada traço da pasta cimentícia a fim de verificar a absorção de água a partir da NBR 9.778 (ABNT, 2005a). Os ensaios foram realizados após 28 dias de cura em câmara úmida. A fim de verificar a influência das CBC na resistência à compressão, foram preparados 12 corpos de prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura de cada traço das pastas cimentícias, para ensaio a partir da NBR 5.739 (ABNT, 2018) em Máquina Universal de Ensaio – Série WDW, sendo apresentado a média dos resultados. Os corpos de prova foram desmoldados após 24h e permaneceram em câmara úmida até o dia do ensaio de ruptura à compressão, que foram realizados nos corpos de prova com idade de 7, 28 e 63 dias.

2.5 Concreto

Os traços referentes aos corpos de prova de concreto foram definidos como 1:2,16:3,03 (cimento: agregado miúdo: agregado graúdo) e α (teor de argamassa) igual a 0,51 o mesmo traço utilizado por Domínguez (2016) e relação a/c 0,6. Os corpos de prova foram desmoldados após 24 h e curados em câmara úmida por 28 dias, o quantitativo de materiais utilizados em cada traço está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Quantidade de matéria-prima utilizada para produção dos corpos de prova de concreto

Amostra	Cimento (kg)	CBC (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)
REF-CON	11,0	0,0	23,8	33,3
10CBC-CON	9,9	1,1	23,8	33,3
20CBC-CON	8,8	2,2	23,8	33,3

Fonte: Próprio autor.

O ensaio de absorção foi realizado seguindo a NBR 9.778 (ABNT, 2005a). Para a verificação da resistência à compressão conforme NBR 5.739 (ABNT, 2018) foram preparados 4 corpos de prova de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura de cada tipo de concreto de cada traço. O ensaio de ruptura foi realizado em prensa hidráulica elétrica do tipo Pavitest, modelo I-3025-B, classe 1.

3 Resultados e discussões

3.1 Agregado miúdo

A areia foi utilizada como agregado miúdo na confecção dos corpos de prova de concreto. A composição granulométrica, segundo o método proposto na NBR NM 248 (ABNT, 2003) da areia utilizada está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição granulométrica do agregado miúdo

Peneiras (mm)	Percentual Retido		Percentual Retido Acumulado		
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Média
6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,36	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
1,18	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
0,6	0,3	0,2	0,6	0,5	0,6
0,3	18,6	21,7	19,2	22,2	20,7
0,15	73,9	72,2	93,1	94,4	93,7
Fundo	6,7	5,4	99,8	99,8	99,9

Fonte: Próprio autor.

3.2 Agregado graúdo

A Tabela 3 apresenta a composição granulométrica da brita utilizada, segundo o método proposto na NBR NM 248 (ABNT, 2003). A brita basáltica foi utilizada como agregado graúdo na confecção dos corpos de prova de concreto, e após a composição granulométrica verificou-se que a brita utilizada se enquadra tradicionalmente como brita 0 e segundo a classificação da NBR 7.211 (ABNT, 2005b), a brita se enquadra na zona granulométrica inferior e ainda verificou-se que o valor de DMC encontrado foi de 12,5 mm e o MF foi de 3,03.

Tabela 3 – Composição granulométrica do agregado graúdo

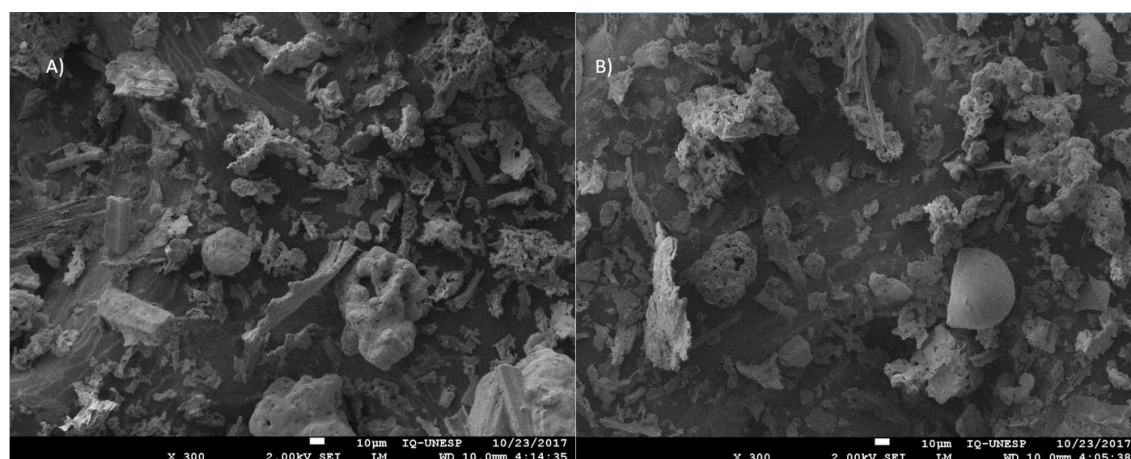
Peneiras (mm)	Percentual Retido		Percentual Retido Acumulado		
	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 1	Ensaio 2	Média
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9,5	6,3	11,5	6,3	11,5	8,9
4,75	86,6	86,7	92,9	98,2	95,5
2,36	6,4	1,5	99,3	99,7	99,5
Fundo	0,7	0,2	100	99,9	99,9

Fonte: Próprio autor.

3.3 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

As imagens de MEV de amostras de CBC são apresentadas na Figura 2, as quais apresentaram morfologia das partículas de formas irregulares e de variados tamanhos, as mesmas características heterogêneas da superfície da amostra de CBC analisada são compatíveis às CBC analisadas por outros autores (ARENAS-PIEDRAHITA et al., 2016; CASTALDELLI et al., 2014; PAYÁ et al., 2002; RÍOS-PARADA et al., 2017).

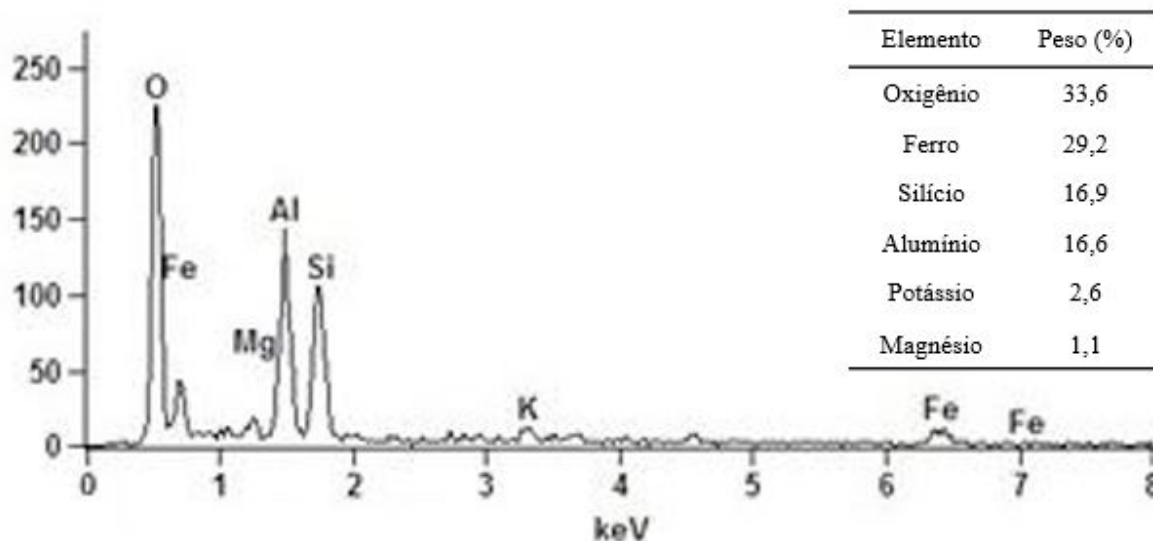
Figura 2 – Imagens obtidas por MEV- SE de duas amostras de CBC com 300 x de aumento



Fonte: Próprio autor.

A Figura 3 apresenta o espectro de EDS de uma amostra de CBC e o seu relativo percentual em peso de cada elemento encontrado.

Figura 3 – Espectro de EDS de uma amostra de CBC

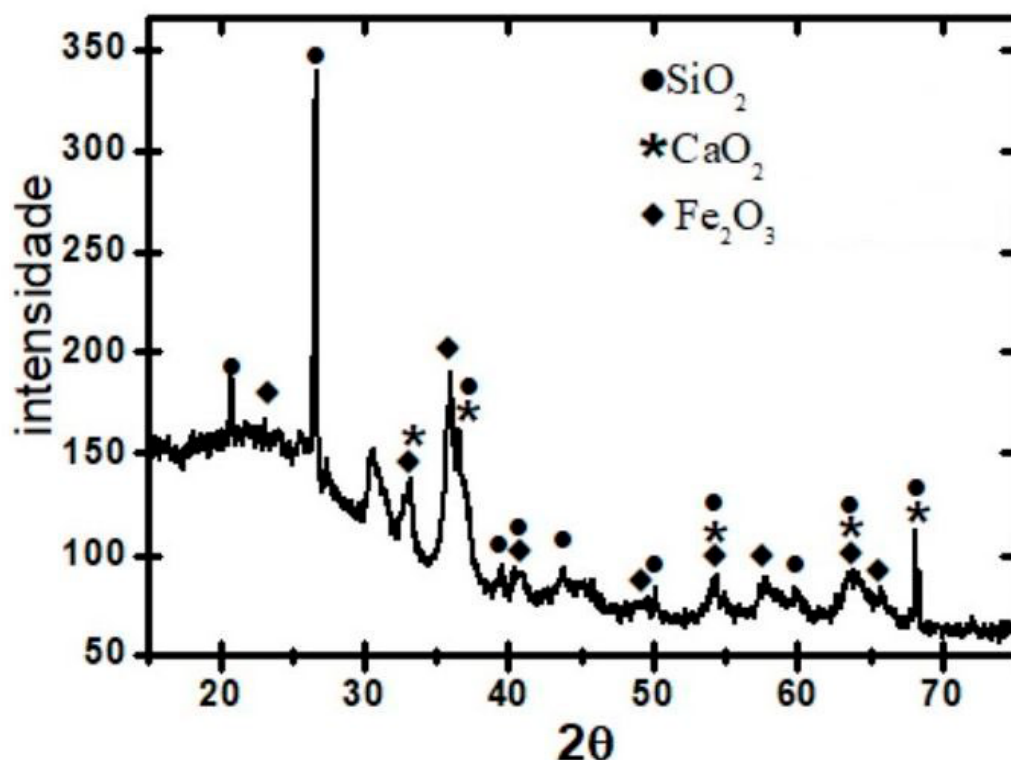


Fonte: Próprio autor.

Verifica-se no espectro da Figura 3 que a amostra contém alumínio, silício, ferro, magnésio e potássio. O percentual de alumínio (16,6 %) encontrado nessa amostra de CBC sugere contaminação da amostra, provavelmente devido à presença de partículas de alumínio no carvão utilizado para a queima do bagaço (PAYÁ et al., 2002).

A fim de melhor caracterização morfológica e estrutural, foi realizado a análise de difração de raios X da amostra de CBC, o difratograma está apresentado na Figura 4 e é possível observar que a amostra possui como seu maior componente o quartzo - SiO_2 (85-796). A sílica e o ferro provavelmente advêm do próprio solo onde a cana é plantada, que mesmo após a higienização da cana para o processamento, o solo não é totalmente removido, outra provável fonte é a própria absorção da sílica e do ferro do solo pelas raízes da cana-de-açúcar (BARBOSA FILHO; PRABHU, 2002). Na mesma amostra de CBC também é presente a cal - CaO (48-1467) e a hematita - Fe_2O_3 (86-2360) em menores quantidades.

Figura 4 – Difratoograma de raios X da amostra de CBC mostrando uma mistura de fases destacando SiO_2 , CaO e Fe_2O_3



Fonte: Próprio autor.

Na Tabela 4, observa-se as fases cristalinas encontradas na amostra de CBC por meio de difração de raios X e é possível verificar que além do quartzo, cal, e hematita, as CBC também apresentam outros compostos como caulim, magnésia e alumina.

Tabela 4 – Fases cristalinas encontradas na amostra de CBC por análise de difração de raios X

Código de Referência	Mineral	Nome do Composto	Fórmula química
85-796	Quartzo	Óxido de Silício	SiO_2
48-1467	Cal	Óxido de Cálcio	CaO
76-1363	Magnésia	Óxido de Magnésio	MgO_2
15-890	Caulim	Hidróxido de Potássio	KOH
86-230	Hematita	Óxido de Ferro II	Fe_2O_3
23-1009	Alumina	Óxido de Alumínio	Al_2O_3

Fonte: Próprio autor.

3.4 Absorção de água

Foram analisados e comparados os resultados dos ensaios de absorção de água, realizados conforme norma NBR 9.778 (ABNT, 2005a), dos corpos de prova de pasta cimentícia. A Tabela 5 apresenta os valores médios de absorção de água (A), do índice de vazios (Iv) e massa específica real (ρ) de 4 corpos de prova de cada traço das pastas cimentícias.

Tabela 5 – Valores médios de absorção de água (A), índice de vazios (Iv), massa específica real (ρ) e desvio padrão (σ) obtidos dos corpos de prova de pastas cimentícias REF-PC, 10CBC-PC e 20CBC-PC

Amostra	A (%) - σ (%)	Iv (%) - σ (%)	ρ (g cm ⁻³) - σ (%)
REF - PC	36,04 - (0,26)	48,31 - (0,26)	2,59 - (0,01)
10CBC - PC	37,15 - (0,38)	49,26 - (0,20)	2,61 - (0,01)
20CBC - PC	39,63 - (0,09)	50,68 - (0,23)	2,59 - (0,02)

Fonte: Próprio autor.

Comparando os valores da absorção de água das amostras REF-PC, 10CBC-PC e 20CBC-PC é possível observar, a partir dos valores da Tabela 5, que conforme aumenta a quantidade de CBC, há um aumento na absorção de água dos corpos de prova de pastas cimentícias. A absorção de água por imersão é inversamente proporcional à resistência à compressão e a resistividade elétrica do concreto (MEHTA; MONTEIRO; CARMONA FILHO, 1994). O índice de vazios das amostras aumentou proporcionalmente a absorção de água e a densidade específica não alterou significativamente.

A absorção de água da amostra 20CBC-PC aumentou aproximadamente 10 % em relação a amostra REF-PC e 6,6 % em relação à amostra 10CBC-PC. O índice de vazios da amostra 20CBC-PC aumentou aproximadamente 5 % em relação a amostra REF-PC, entretanto a densidade específica se manteve constante com a substituição de CBC, representando que a trabalhabilidade da argamassa não se alterou, pois é sabido que quanto menor a massa específica, mais leve será a argamassa, consequentemente, será mais trabalhável a longo prazo (CARASEK, 2010).

Na Tabela 6, observa-se os valores de absorção de água (A), índice de vazios (Iv) e massa específica real (ρ) dos corpos de prova concreto.

Tabela 6 – Valores de absorção de água (A), índice de vazios (Iv), massa específica seca real (ρ) das amostras de concreto REF-CON, 10CBC-CON e 20CBC-CON

Amostra	A (%)	Iv (%)	ρ (g cm ⁻³)
REF-CON	5,26	10,08	2,13
10CBC-CON	7,21	14,21	2,30
20CBC-CON	8,75	16,75	2,30

Fonte: Próprio autor.

De acordo com a Tabela 6, verifica-se que a absorção de água da amostra 20CBC-CON aumentou aproximadamente 65 % em relação à amostra REF-CON e o índice de vazios (I_v) obteve praticamente o mesmo aumento (66 %) nas mesmas amostras. O índice de vazios está associado à permeabilidade do material, portanto, quanto maior o I_v maior será a permeabilidade da massa (NEVILLE, 2015). Já a amostra 10CBC-CON apresentou maior absorção de água em 27 % em relação à amostra REF-CON e quanto ao índice de vazios, esse aumentou 29 % em relação a amostra sem CBC, o que demonstra que o concreto com CBC se torna mais permeável. A densidade específica das amostras com CBC aumentou em 7,3 % em relação a amostra sem CBC, indicando que o concreto com CBC se tornou um pouco mais “pesado” (trabalhabilidade da massa).

O observado nas pastas cimentícias também foi observado nos corpos de prova de concreto quando aumenta a substituição do cimento por CBC, aumenta a absorção de água. O mesmo ocorreu na pesquisa de Le, Sheen e Lam (2018), que substituíram cimento por CBC beneficiadas (previamente moídas e queima regular entre 800° C e 1000°C), quando substituíram 10 % de CBC obtiveram um aumento de 5 % na absorção de água.

Verificou-se que o aumento da absorção de água da amostra 20CBC-PC foi somente 9 % e a partir do momento que foram acrescentados agregados na amostra (concreto) a absorção de água aumentou em quase 65 %. A partir desses resultados é possível concluir que o aumento da absorção de água do concreto é devido à própria absorção de água dos agregados e não das CBC.

Apesar do aumento da absorção de água nos corpos de prova, sabe-se que o efeito empacotamento é benéfico nos materiais cimentícios, visto que reduz a permeabilidade ácida, dificultando o acesso de cloretos na matriz, aumentando assim a vida útil do concreto (MEHTA; MONTEIRO; CARMONA FILHO, 1994).

Segundo Neville (2015), o ensaio de absorção de água, não deve ser utilizado como uma medida de qualidade do concreto, mas conforme orienta o mesmo autor, a maioria dos bons concretos tem absorção menor do que 10 % em massa. Conforme observado na Tabela 6, os valores obtidos de absorção dos corpos de prova de concreto com CBC ficaram abaixo de 10 %. Pode-se concluir que as CBC atuam mais como *filler* do que como material pozolânico (ARIF; CLARK; LAKE, 2016; PAYÁ et al., 2018; PEREIRA et al., 2015). Sendo assim, pode-se concluir que as CBC são potenciais resíduos para substituição do agregado miúdo no concreto.

3.5 Resistência à compressão

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão são a média dos resultados da ruptura de 4 corpos de provas de cada traço do concreto e os valores estão na Tabela 7, assim como o resultado da média dos ensaios nas amostras de cada traço das pastas cimentícias.

A partir da Tabela 7, é possível verificar que nas pastas cimentícias a resistência a compressão dos corpos de prova REF-PC aumentou em relação à idade do corpo de prova, sendo 9, 20 e 25 MPa aos 7, 28 e 63 dias respectivamente os corpos de prova REF-PC foram se tornando mais resistentes e aos 63 dias encontrou-se a maior resistência. Ao acrescentar as CBC, a resistência também foi aumentando com o passar do tempo. A resistência à compressão das amostras 10CBC-PC, com 21 e 63 dias de idade respectivamente (13 e 16 MPa) e das amostras 20CBC-PC (12 MPa / 21 dias e 15 MPa / 63 dias) é menor se comparada à amostra REF-PC (20 e 25 MPa), supostamente às CBC não provocarem reações de hidratação no cimento, elas atuam como *filler* e quanto maior a absorção de água menor a resistência e resistividade (MEHTA; MONTEIRO; CARMONA FILHO, 1994), em concordância com os resultados dos ensaios de absorção de água que mostram as CBC melhoram o efeito empacotamento nos corpos de prova e não atuam como material pozolânico.

Tabela 7 – Valores da resistência à compressão (RC) e o desvio padrão (σ) dos corpos de provas de concreto - REF-CON, 10CBC-CON e 20CBC-CON aos 28 dias e das pastas cimentícias- REF-PC, 10CBC-PC e 20CBC-PC - aos 7, 28 e 63 dias.

Amostra		RC (7 dias) (MPa) - σ (%)	RC (28 dias) (MPa) - σ (%)	RC (63 dias) (MPa) - σ (%)
Pasta cimentícia	REF-PC	9 (1,9)	20 (0,7)	25 (0,0)
	10CBC-PC	12 (0,8)	13 (3,0)	16 (5,0)
	20CBC-PC	12 (0,7)	12 (3,1)	15 (1,4)
Concreto	REF-CON	----	26 (3,2)	----
	10CBC-CON	----	34 (1,0)	----
	20CBC-CON	----	26 (0,7)	----

Fonte: Próprio autor.

Nos corpos de prova de concreto, a partir dos resultados da Tabela 7, é possível verificar que apesar do aumento da absorção de água, a resistência mecânica dos corpos de prova de concreto não diminuiu, a amostra REF-CON atingiu 26 MPa, enquanto a amostra 20CBC-CON também atingiu os mesmos 26 MPa. O melhor resultado foi o da amostra 10CBC-CON que atingiu 34 MPa, um aumento de 30 % em relação a amostra sem CBC, e a amostra 20CBC-CON obteve o mesmo valor da resistência mecânica ao 28 dias que a amostra de referência (sem CBC), provando também que o efeito empacotamento beneficiou o desempenho mecânico das amostras com CBC.

Patel e Raijiwala (2015) estudaram a substituição de cimento por CBC em corpos de prova de concreto, por meio de ensaios de resistência a compressão e, verificaram que 6 % é o percentual ideal de substituição de cimento por CBC. A substituição de 6 % de cimento por CBC aumentou em 9,67 % a resistência a compressão do concreto curado após 28 dias. Arif, Clark e Lake (2016) estudaram a resistência mecânica do concreto com substituição de cimento por CBC bruta por meio de ensaios de resistência à compressão e, concluíram

que a substituição de até 5 % de cimento por CBC bruta fornece a maior resistência mecânica, após a substituição de maiores quantidades de CBC, a resistência à compressão dos corpos de provas diminui. Já Rajasekar e colaboradores (2018), utilizando ensaios de resistência a compressão, observaram que o limite máximo de substituição de cimento por CBC bruta, sem alteração da resistência à compressão no concreto foi de 15 %.

A amostra 10CBC-CON obteve resultado de 34 MPa, aproximadamente 31 % melhor que a referência, que foi de 26 MPa, entretanto é possível verificar que a amostra 20CBC-CON, obteve os mesmos 26 MPa da referência, indicando uma possível curva descendente da resistência à compressão após a substituição de 20 % de CBC. É possível concluir que nas condições analisadas, substituindo o cimento em 10 %, as CBC melhoraram a resistência à compressão do concreto, e com 20 % de CBC, a resistência à compressão decresce em relação à amostra 10CBC-CON.

4 Considerações Finais

Neste trabalho, as cinzas do bagaço de cana-de-açúcar secas em estufa por 24h e peneiradas #200, foram analisadas como possíveis substitutas parcial do cimento no concreto, a fim de diminuir o impacto ambiental causado na produção de cimento como também dar uma destinação ambientalmente amigável para as CBC. Foram realizados ensaios de absorção de água e resistência à compressão em corpos de prova com 0, 10 e 20 % de CBC no lugar do cimento. Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

1) Apesar do aumento da absorção de água nos corpos de prova de concreto, conforme aumentou a proporção de CBC no concreto, o índice de vazios (I_v) praticamente continuou constante no ensaio nas pastas cimentícias, comprovando que as CBC atuam no concreto mais como *filler* do que material pozolânico.

2) Após a realização de ensaio de resistência a compressão, verificou-se que com a substituição de 10 % de cimento por CBC o concreto obteve um aumento na resistência de 31 % em relação ao corpo de prova sem CBC, e com 20 % de substituição a resistência diminuiu em relação a amostra com substituição de 10 % de cimento por CBC, mas atingiu o mesmo valor da resistência do corpo de prova sem CBC.

3) Os resultados de testes nos concretos revelaram que as CBC podem ser utilizadas com sucesso como *fillers* para substituir o cimento com 10 % de substituição, em várias aplicações na construção civil, mas ensaios de durabilidade devem ser realizados. E por esta razão, as CBC seriam uma boa opção para a substituição do agregado miúdo.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal da Grande Dourados pelo apoio prestado para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial*. 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248: Determinação da composição granulométrica*. 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação* Aggregates for concrete-Specification. 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16.605: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica*. 2017.
- ALMEIDA, F. C. R. et al. Use of sugarcane bagasse ash sand (SBAS) as corrosion retardant for reinforced Portland slag cement concrete. *Construction and Building Materials*, v. 226, p. 72–82, 30 nov. 2019.
- ARENAS-PIEDRAHITA, J. C. et al. Mechanical and durability properties of mortars prepared with untreated sugarcane bagasse ash and untreated fly ash. *Construction and Building Materials*, v. 105, p. 69–81, 2016.
- ARIF, E.; CLARK, M. W.; LAKE, N. Sugar cane bagasse ash from a high efficiency co-generation boiler: Applications in cement and mortar production. *Construction and Building Materials*, v. 128, p. 287–297, 2016.
- BARBOSA FILHO, M. P.; PRABHU, A. S. Aplicação de Silicato de Cálcio na Cultura do Arroz Introdução. *Embrapa Acre-Circular Técnica*, 2002.
- BRASIL. *Lei Federal nº 12.305. Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília: Edições Câmara, 2010.
- CARASEK, H. Argamassas. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893–941.
- CASTALDELLI, Vinicius N. et al. Preliminary studies on the use of sugar cane bagasse ash (SCBA) in the manufacture of alkali activated binders. *Key Engineering Materials. Trans Tech Publications Ltda*, p. 689- 698, 2014.
- DOMÍNGUEZ, A. O. Análise comparativa de inibidores de corrosão na água de poro e no concreto armado para aço carbono CA- 50. 2016.
- GIRARDI, R. Estudo da variabilidade do cimento Portland que abasteceu o mercado do Rio Grande do Sul no período de 1992 a 2012. GIRARDI, R. Estudo da variabilidade do cimento Portland que abasteceu o mercado do Rio Grande do Sul no período de 1992 a 2012. 2014.
- HABERT, G. et al. Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020.

- ISAIA, G. C. *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1 edicao ed. São Paulo: IBRACON, 2011.
- LE, D. H.; SHEEN, Y. N.; LAM, M. N. T. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete with sugarcane bagasse ash-slag blended cement. *Construction and Building Materials*, v. 185, p. 138–147, 10 out. 2018.
- LIMA, S. A. et al. Analysis of the mechanical properties of compressed earth block masonry using the sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, v. 35, p. 829–837, 2012.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.; CARMONA FILHO, A. *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. 1. ed. São Paulo: PINI, 1994.
- MORETTI, J. P.; NUNES, S.; SALES, A. Self-compacting concrete incorporating sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, v. 172, p. 635–649, 30 maio 2018.
- NEVILLE, A. M. *Propriedades do Concreto*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- PATEL, J. A.; RAIJIWALA, D. B. Experimental study on use of sugar cane bagasse ash in concrete by partially replacement with cement. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, v. 4, n. 4, p. 2228–2232, 2015.
- PAYÁ, J. et al. Sugar-cane bagasse ash (SCBA): Studies on its properties for reusing in concrete production. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, v. 77, n. 3, p. 321–325, 2002.
- PAYÁ, J. et al. Bagasse ash. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete*, p. 559–598, 2018.
- PEREIRA, A. et al. Mechanical and durability properties of alkali-activated mortar based on sugarcane bagasse ash and blast furnace slag. *Ceramics International*, v. 41, n. 10, p. 13012–13024, 2015.
- RAJASEKAR, A. et al. Durability characteristics of Ultra High Strength Concrete with treated sugarcane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, v. 171, p. 350–356, 2018.
- RÍOS-PARADA, V. et al. Characterization and use of an untreated Mexican sugarcane bagasse ash as supplementary material for the preparation of ternary concretes. *Construction and Building Materials*, v. 157, p. 83–95, 30 dez. 2017.
- SETAYESH GAR, P.; SURESH, N.; BINDIGANAVILE, V. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, v. 153, p. 929–936, 2017.