Paredes de concreto: estudo da utilização de cinza do bagaço da cana-de-açúcar em concretos autoadensáveis

Concrete walls: study of the use of ash from sugarcane bagasse in self-compacting concretes

ALESSANDRA ZALESKI (1), DRIELLY MENOSSO (2), GABRIEL LUIS DALLA VECHIA(2), SUELEN VANZETTO (2) AND CRISTINA VITORINO DA SILVA(2)

(1) Un*iversidade Federal de Santa Catariana; (2) URI*

RESUMO

É crescente a busca por materiais alternativos que possam ser utilizados em substituição ao cimento Portland sem que haja prejuízo em seu desempenho com o objetivo de reduzir o consumo deste, uma vez que a cadeia produtiva do cimento é responsável por boa parte das emissões de dióxido de carbono (CO2) na atmosfera. A pesquisa teve como objetivo estudar a influência da substituição do cimento Portland por cinza do bagaço da cana-de-açúcar no desempenho de paredes de concreto autoadensável. Primeiramente, estabeleceu-se o traço referência e realizou-se o emprego dos teores de substituições em 10% e 15%. Após a concretagem e moldagem dos corpos de prova, os concretos foram submetidos à cura úmida e exposta por 28 dias. Estudou-se a sua utilização por meio dos ensaios mecânicos: resistência à compressão uniaxial, módulo de deformação, absorção de água e dureza superficial. O melhor resultado para a resistência à compressão mostrou-se na substituição de 15% de cinza, assim, infere-se que a utilização da mesma possa ser considerada como um material alternativo para a produção de concreto e contribuir para a diminuição de CO2 na atmosfera, porém é necessário ressaltar a indispensabilidade de mais estudos para aperfeiçoar seu uso.
Palavras-chave: Cinza. Cana-de-açúcar. Paredes de concreto. Concreto autoadensável.

ABSTRACT

There is a growing search for alternative materials that can be used in place of Portland cement without impairing its performance in order to reduce its consumption, since the cement production chain is responsible for a large part of the carbon dioxide in the atmosphere. The research had as objective to study the influence of the substitution of Portland cement by sugarcane bagasse ash in the performance of self-compacting concrete walls. Firstly, the reference trait was established and the substitution contents were used in 10% and 15%. After the concreting and molding of the test specimens, the concretes were submitted to moist curing and exposed for 28 days. Its use was studied through mechanical tests: uniaxial compression strength, modulus of deformation, water absorption and surface hardness. The best result for the compressive strength was in the substitution of 15% of gray, so it is inferred that the use of the same can be considered as an alternative material for the production of concrete and contribute to the decrease of CO2 in the atmosphere, but it is necessary to emphasize the indispensability of further studies to improve its use.
Keywords: Grey. Sugar cane. Concrete walls. Self-compacting concrete.

1 INTRODUÇÃO

A crescente geração de energia proveniente de fontes renováveis vem impulsionando a produção de álcool etanol a partir da cana-de-açúcar, aumentando assim, gradativamente a sua geração de resíduos, uma vez que o bagaço representa cerca de 30% da cana moída. Ainda, visado o caráter ecológico, têm-se também as indústrias cimenteiras que são responsáveis por 5% das emissões de CO_2 mundial, podendo este índice chegar a até 30% em 40 anos (DAMINELI, 2013). Considerando estes elementos, alternativas que visem uma correta disposição dos resíduos da cana-de-açúcar e a redução do uso de cimento na construção civil são de caráter urgente.

Esta pesquisa tem como objetivo, unir ambos os problemas abordados anteriormente, utilizando a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) em substituição ao cimento Portland (CPV – ARI) (em volume) e analisar seu comportamento por meio das propriedades mecânicas e de durabilidade em paredes de concreto autoadensável (PCAA).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O crescimento constante e acelerado da construção civil em decorrência do aumento populacional das cidades e da demanda pelo setor, ao longo das últimas décadas, vem trazendo cada vez mais a necessidade de soluções ecológicas e não prejudiciais ao meio ambiente, sendo o setor da construção civil, considerado o que mais consome recursos naturais e por consequência, o que produz maior quantidade de resíduos sólidos. Por conta disso, os sinais da degradação ambiental tornam-se maiores a cada ano e o impacto é sentido de forma direta pela população mundial (PAIXÃO, 2011).

Segundo Sousa (2009), a busca por materiais mais sustentáveis na construção tem levado os pesquisadores a utilizarem resíduos agrícolas e industriais como importante fonte de recursos opcionais, oferecendo, pelo menos, o mesmo nível de qualidade das tecnologias convencionais. Todavia, a viabilidade de aproveitamento desses resíduos está ligada à determinada conjuntura econômica onde predomine a escassez de materiais convencionais de construção aliada ao elevado custo de sua aquisição. Além disso, a utilização desses resíduos pode provocar a melhora nas propriedades tecnológicas dos componentes que vêm sendo utilizados.

O cultivo da cana-de-açúcar ocupa um papel de destaque na economia mundial. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), a produção de cana-de-açúcar na safra 2017/18 foi de 633,26 milhões de toneladas, cerca de 72.623 kg/ha, colocando o Brasil no topo da lista dos maiores produtores mundiais de cana há vários anos. Entretanto, há como consequência a elevada quantidade de resíduos agroindustriais e poluição ambiental que são gerados.

Segundo Cortez et al. (1992), cada tonelada de cana moída rende cerca de 250 kg de bagaço úmido (com média de 50% de umidade, 48% de fibras e 2% de sólidos solúveis), sendo que este, é a fração de biomassa resultante após os procedimentos de limpeza, preparo e extração do caldo de cana. A quantidade desse bagaço extraído chega a aproximadamente 30% da cana moída e tem sido aproveitado como fonte energética, pois cerca de 95% desta biomassa é queimada em caldeiras para geração de vapor na produção de açúcar e álcool (PAULA et al., 2009).

De acordo com Sampaio (2013), no decorrer da combustão nas caldeiras das usinas, alimentadas pelo bagaço para cogeração de energia elétrica, gera-se um novo resíduo, a cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Presume-se que para cada tonelada de cana-de-açúcar são produzidos 250 kg de bagaço e 6 kg de cinza residual após sua combustão (SOUZA et al., 2011).

São crescentes as pesquisas voltadas para o desenvolvimento de alternativas para uma destinação sustentável a esta cinza e também uma maneira de agregar valor ao subproduto da

indústria da cana-de-açúcar (SAMPAIO, 2013). A cinza é constituída basicamente por dióxido de silício (SiO_2), apresentando-se desta maneira como potencial de aditivo mineral em pastas, argamassas e concretos (CASTALDELLI et al., 2010).
Segundo Bahurudeen et al. (2015), a utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material complementar de cimentação por meio de processamento e caracterização sistemáticos, oferece uma alternativa rentável e ecológica à sua disposição. Sabendo-se que a cadeia de construção civil consome mais de 50% dos recursos naturais e sendo o cimento responsável atualmente por 5% das emissões de CO_2 mundiais, torna-se urgente a busca por alternativas, principalmente aquelas voltadas para o aproveitamento dos recursos naturais locais, e aproveitamento dos subprodutos gerados em atividades agroindustriais como a CBCA (PAULA, 2006).
Uma alternativa que se mostra válida é fazer o uso do concreto com cinza no sistema construtivo de parede de concreto. O qual é um sistema que consiste por ter sua estrutura e sua vedação formadas por um único elemento, a parede de concreto, que é moldada *in* loco. Este modelo oferece uma opção sustentável para a construção civil, por utilizar insumos industrializados que são submetidos a controle ambiental em sua produção, fôrmas que podem ser reaproveitadas várias vezes e por diminuir consideravelmente o desperdício e o descarte de resíduos. Ainda, ocorre uma redução do duplo trabalho, dado que a moldagem desta é feita em local definitivo, evitando assim uma série de gastos com mão-de-obra devido à redução do tempo de execução. Por este motivo trata-se de um sistema amplo em sua área de abrangência, ajudando empresas de médio e grande porte a acelerarem o cumprimento dos cronogramas (ABCP et al., 2008).
A NBR 16055 (ABNT, 2012) recomenda que seja utilizado o concreto autoadensável (CAA) neste tipo de sistema construtivo, uma vez que este concreto em específico tem como característica a fluidez e a resistência à segregação, fatores estes responsáveis pela minimização das operações de acabamento, além de garantia da boa integridade das arestas, diminuindo retrabalhos.
Alyhya (2017) ressalta que tipos especiais de resíduos industriais ou materiais naturais (também conhecidos como pozolanas) podem ser utilizados em misturas de CAA para substituir parcialmente o cimento com a finalidade de melhorar ou alcançar certas propriedades. Destaca ainda que os principais componentes químicos presentes nos materiais utilizados em substituição ao cimento são o dióxido de silício (SiO_2) e o óxido de alumínio (Al_2O_3) que reagem lentamente com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) levando a formação do silicato de cálcio e hidratos de aluminato. Estas reações, em conjunto com as produzidas pela hidratação do cimento Portland preencherão os vazios, melhorando a durabilidade em longo prazo, reduzindo a retração, fluência, permeabilidade, entrada de cloreto e ataque de sulfato. A contribuição destes materiais para a melhora da resistência está relacionada principalmente à sua atividade pozolânica, que depende das proporções de substituição e de suas propriedades inerentes. A reação pozolânica diminui também a porosidade da zona interfacial melhorando assim a força de adesão entre agregado e pasta. A incorporação bem-sucedida destes materiais no CAA transforma resíduos (subprodutos) ou materiais de baixo valor em recursos valiosos, reduzindo custos, reaproveitando recursos naturais e reduzindo as emissões de gás carbônico (CO_2).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

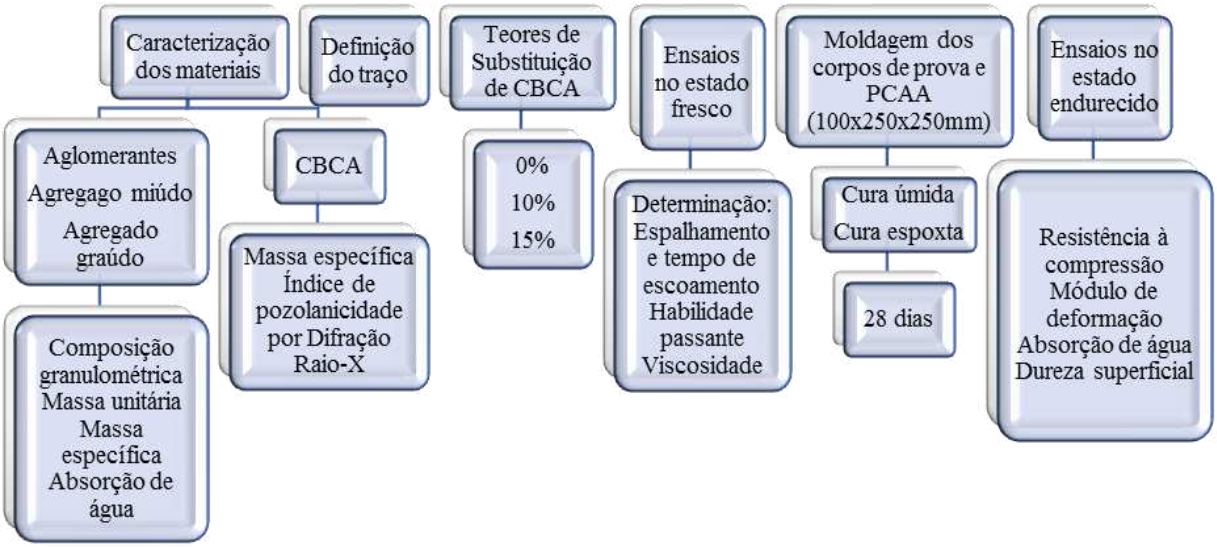
3.1 Planejamento experimental

O estudo experimental desta pesquisa compreendeu a caracterização física e química da CBCA e teve como objetivo verificar sua pozolanicidade e seu estado amorfo. Ainda, consistiu na produção do concreto autoadensável bem como na moldagem dos corpos-de-

prova e nas amostras das paredes de concreto com o objetivo de verificar a influência da utilização da CBCA em substituição ao cimento Portland no desempenho mecânico de PCAA aos 28 dias.

Desta forma, o planejamento experimental foi definido como demonstrado na Figura 1, permitindo trabalhar com fatores controláveis para que então, através de tratamento estatístico pelo *software* Statistica 8.0, fosse possível avaliar a influência de cada um destes fatores nas variáveis de resposta. Para analisar se os dados que foram obtidos na pesquisa são estatisticamente iguais ou diferentes, determinando quais são as técnicas que oferecem os melhores resultados, se utilizou o método de teste de *Tukey*, que é usado para testar toda e qualquer diferença significativa entre as duas médias de tratamento, ou seja, não permite comparar grupos entre si.

Figura 1 – Planejamento experimental



Fonte: Autor (2019).

3.2 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Com o intuito de buscar os objetivos desta pesquisa, foi realizada a substituição do cimento Portland por CBCA em volume, considerando as densidades dos materiais. A cinza utilizada foi de uma cachaçaria localizada no munícipio de Três Arroios/RS, conforme demonstrado na Figura 2. Ao chegar ao laboratório foi posta para secagem em estufa na temperatura de 100ºC, pelo período de 24 horas. Após passou por processo de moagem em moinho de bolas por cerca de 6 horas, conforme recomendação pela literatura consultada e posteriormente foi calcinada em Mufla à temperatura de 700ºC por 1h. Este processo teve o objetivo de aumentar a quantidade de cinza passível de utilização, uma vez que o processo de moagem aumenta a reatividade da adição.

Figura 2 – Cinza do bagaço da cana-de-açúcar



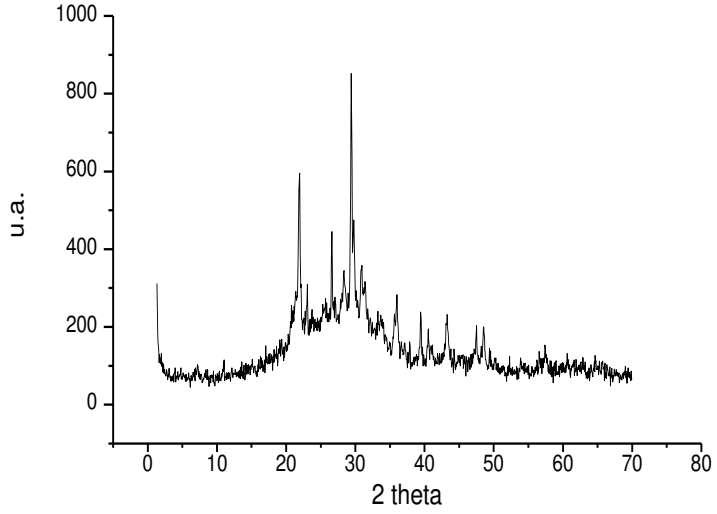
Fonte: Autor (2019).

A caracterização física da CBCA se deu através da determinação da massa específica obtida por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier conforme recomendado pela NBR 16605 (ABNT, 2017). Este parâmetro complementa a caracterização química da CBCA, possibilitando compreender de que maneira a cinza interage com o cimento durante a hidratação, modificando suas propriedades após endurecimento. A cinza utilizada para este estudo apresentou como resultado massa específica no valor de 2,64 g/cm³.

Para a caracterização química da CBCA, foi realizada a análise DRX (análise padrão), onde as medidas de difração de Raio-X (DRX) foram conduzidas em um difratômetro convencional (Rigaku – Mini Flex II), operando na geometria convencional de 2 theta, sob as seguintes condições de análise: velocidade de 5º/min ao passo de 0,05; detector de cobre: 1,54 nm; voltagem do detector: 30mA. Esta técnica permite a determinação da composição mineralógica dos sólidos cristalinos presentes em um material e é empregada para caracterização de fases cristalinas presentes na cinza.

Os dados gerados pelo ensaio estão compilados no difratograma observado na Figura 3, onde a Difração de Raio-X obteve como maior resultado que a cinza é amorfa, porém há picos onde se apresentam fases cristalinas de sílica. A amorficidade da cinza está relacionada com a sua atividade pozolânica, que é diretamente proporcional à área específica e depende da composição química do material. Desta forma, materiais com estrutura desordenada (amorfa) apresentam maior reatividade em comparação com materiais cristalinos.

Figura 3 – Resultado da difraçao de Raio-X



Fonte: Autor (2019).

3.3 Dosagem do concreto

A Tabela 1 apresenta os traços utilizados na dosagem do concreto, sendo adotado o traço 1:6 com relação água/cimento igual a 0,65, uma vez que este atendeu à resistência desejada (30 MPa) com menor consumo de cimento. Para o desenvolvimento do traço, optou-se por fixar a substituição do cimento, pela sílica ativa, em um teor de 10%, e o uso do aditivo foi fixado em um teor de 1%, baseado nas recomendações dos fabricantes em conjunto com os estudos abordados para a elaboração do traço.

Tabela 1 – Traços utilizados para a dosagem do CAA

Traços	α	Traço Unitário			Slump (mm)	Aditivo (%)	Consumo de Cimento (Kg/m³)	H (%)	Resistência	
		C	a	P					Fcj (MPa)	a/c
3,5	0,50	1	1,25	2,25	120	1	490,07	0,096	33,35	0,43
6	0,50	1	2,50	3,50	100	1	314,69	0,093	36,9	0,65
6,5	0,50	1	2,75	3,75	100	1	294,65	0,091	20,43	0,68

Fonte: Autor (2019).

Posteriormente a escolha do traço elaborou-se concretos com substituições de cinza do bagaço da cana-de-açúcar pelo cimento nos teores de 10% e 15%, além de um concreto de referência. Para as concretagens os materiais utilizados foram: Cimento Portland de alta resistência inicial (CPV – ARI), areia fina natural, brita 0, água, aditivo superplastificante, sílica ativa e cinza do bagaço da cana-de-açúcar.

A mistura foi realizada com o intuito de avaliar as propriedades do concreto no estado fresco por meio dos ensaios de aceitação para o CAA: Determinação do Espalhamento e do Tempo de Escoamento (Método do Cone de Abrams) pela NBR 15823/2 (ABNT, 2010), Determinação da Habilidade Passante (Método da caixa L) através da NBR 15823/4 (ABNT, 2010) e a Determinação da Viscosidade (Método do funil V) por meio da NBR 15823/5 (ABNT, 2010). Onde ambos os concretos produzidos respeitaram suas respectivas normas. Ainda, avaliar as propriedades do CAA no estado endurecido, o qual foi realizado após a cura (úmida e exposta) na idade de 28 dias.

3.4 Métodos de ensaios no estado endurecido: Ensaios mecânicos e de durabilidade

Para a realização do ensaio de resistência à compressão uniaxial foi utilizada a NBR 5739 (ABNT 2007), que prescreve um método pelo qual devem ser ensaiados à compressão os corpos de prova cilíndricos de concreto. Para a realização deste ensaio foram necessários os corpos de prova e uma prensa hidráulica que imponha uma força de compressão sobre os mesmos.

O ensaio de módulo de deformação/elasticidade seguiu as prescrições da NBR 8522 (ABNT 2008), que especifica um método para a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, do concreto endurecido, em corpos-de-prova cilíndricos que podem ser moldados ou extraídos da estrutura.

O ensaio de adsorção de água por capilaridade no concreto seguiu as especificações da NBR 9779 (ABNT 2012), a qual prescreve o ensaio para determinação da absorção de água por capilaridade de argamassas e concretos endurecidos.

Por fim, para o ensaio de avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão foi utilizada a NBR 7584 (ABNT, 2012), tem-se como objetivo medir a dureza superficial do

concreto, fornecendo elementos para a avaliação da qualidade do concreto endurecido. O ensaio foi realizado em fôrmas de 250x250x100mm simulando paredes de concreto. A seguir na Figura 4, os ensaios no estado endurecido.

Figura 4 – Ensaios mecânicos e de durabilidade



a) Resistência à compressão; b) Módulo de deformação; c) Absorção de água; d) Dureza superficial.
Fonte: Autor (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resistência à compressão uniaxial

Os resultados médios de resistência à compressão uniaxial, o desvio padrão e o coeficiente de variação para os concretos avaliados, exibem-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados médios da resistência à compressão uniaxial

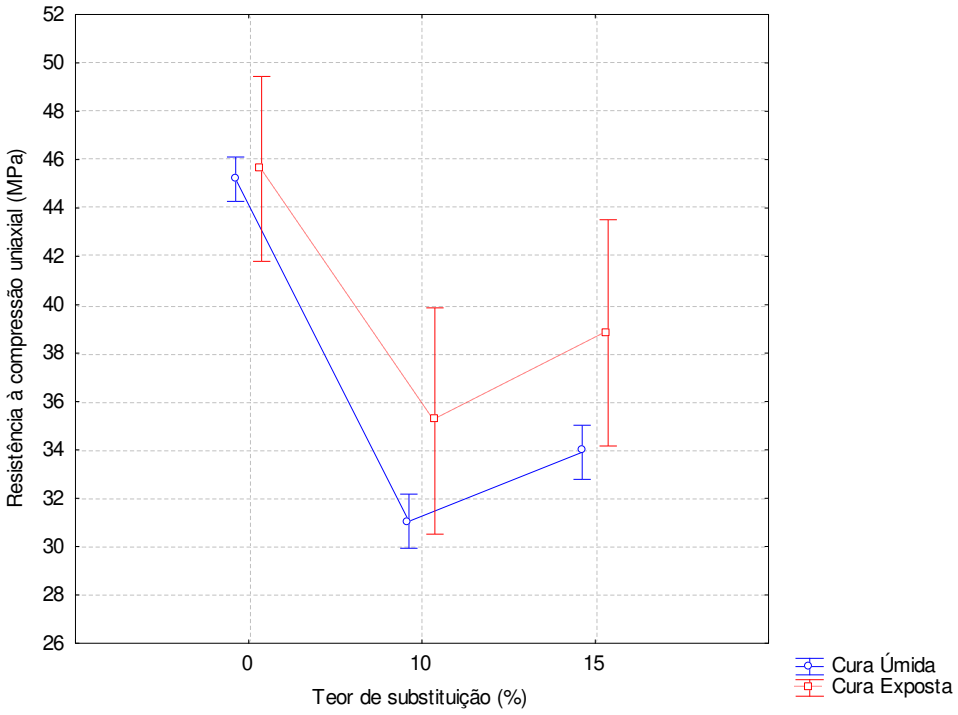
Teor de substituição (%)	Cura	Resistência à compressão uniaxial média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
0	Úmida	45,19	0,35	0,77
0	Exposta	45,62	1,05	2,31
10	Úmida	30,49	2,90	9,06
10	Exposta	35,19	2,39	6,84
15	Úmida	33,90	0,76	2,25
15	Exposta	38,84	3,97	10,21

Fonte: Autor (2019).

Avaliando os resultados obtidos com a cura úmida, pode-se perceber que a resistência à compressão uniaxial média para o teor de 10% obteve um decréscimo de 32,53% e para o teor de 15% uma redução de 24,98%, quando comparados com o teor de referência (0%). Para os resultados encontrados com cura exposta, percebem-se quedas nas resistências médias dos teores de 10% e 15% em 22,86% e 14,86%, perante o referência.

A seguir no Gráfico 1, nota-se o efeito combinado das curas com os teores de substituições de CBCA sobre a resistência à compressão uniaxial.

Gráfico 1 – Resistência à compressão uniaxial: Efeito combinado das curas com os teores de substituições



Fonte: Autor (2019).

Analisando o Gráfico 1, pode-se perceber que os tipos de cura não interferiram na resistência à compressão dos concretos. Todavia, nota-se que os concretos submetidos à cura úmida obtiveram resistências mais baixas. Pode-se justificar esta queda na resistência à compressão dos concretos realizados com cura úmida, pela relação a/c utilizada para produção do traço, que foi de 0,65. Pois a cura úmida é ideal para concretos de baixa relação a/c no ganho de resistência, proporcionando grande desenvolvimento ao concreto (BRESOLIN, 2016).

Ainda, percebe-se que o teor de 10% obteve resultados inferiores ao percentual de substituição de 15%. Sampaio et al. (2014) avaliariam a influência da CBCA no comportamento mecânico de concretos para substituições de 10, 20 e 30%. Observou-se que todos os concretos com CBCA mostram-se eficazes em termos de resistência, porém o concreto com 10% de adição de CBCA se mostrou pouco eficiente em relação aos demais teores. Elucida-se quanto à possibilidade de a resistência do concreto no estudo em questão ter diminuído em relação ao traço referência devido a uma junção de dois fatores principais: baixa reatividade da CBCA aos 28 dias e teor de substituição deficiente para a matriz porosa estudada.

Por meio do teste de *Tukey*, pode-se dizer que o melhor resultado obtido para a resistência à compressão foi para o teor de 15% com cura exposta, onde se apresentou estatisticamente igual ao concreto de referência e ao teor de 10% (ambos em cura exposta). Porém o teor de 10% com cura exposta mostrou-se distinto do referência. Já para os concretos que foram submetidos à cura úmida, as substituições de 10 e 15% expressaram-se diferentes entre si e do referência.

4.2 Módulo de deformação

Os resultados médios de módulo de deformação, o desvio padrão e o coeficiente de variação para os concretos estudados, apresentam-se na Tabela 3.

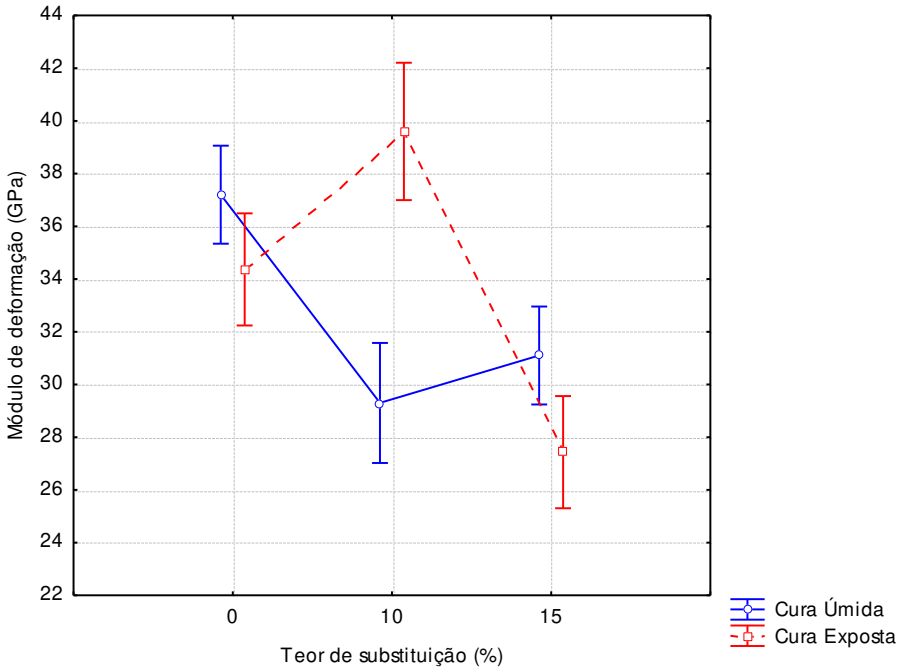
Tabela 3 – Resultados médios do módulo de deformação

Teor de substituição (%)	Cura	Módulo de deformação média (GPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
0	Úmida	37,20	1,47	3,96
0	Exposta	34,36	1,09	3,19
10	Úmida	29,30	0,14	0,48
10	Exposta	40,03	1,10	2,93
15	Úmida	31,10	1,32	4,25
15	Exposta	27,43	1,40	5,12

Fonte: Autor (2019).

Analisando os resultados obtidos em cura úmida, notam-se decréscimos no módulo de deformação para os teores de 10% e 15% em 21,23% e 16,39%, ambos comparados com o teor de referência. Logo, para a cura exposta, percebe-se que ocorreu um acréscimo no módulo para o teor de 10% em 16,50%, já para o teor de 15% houve uma redução de 20,16%, quando comparados ao teor de referência.
O efeito combinado das curas com os teores de substituições de CBCA sobre o módulo de deformação, expõem-se no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Módulo de deformação: Efeito combinado das curas com os teores de substituições



Fonte: Autor (2019).

Ao examinar o Gráfico 2, percebe-se que apenas para a substituição de 10% houve interferência do tipo de cura. A cura exposta, por si só, prejudica a hidratação do compósito quando este passa pelo processo de forma "natural' sem a presença de agentes adsortivos como a CBCA. Pitta *et al.* (2004) salienta que para que a hidratação se processe de forma

conveniente é essencial manter a massa em condições ótimas de umidade e de temperatura. O Gráfico 2 reflete esta afirmação pois, como pode ser observado, para o compósito sem a presença de agentes adsortivos o resultado obtido segue como esperado, apresentando melhores efeitos para a cura úmida do que para a exposta.
Entretanto, quando o agente adsortivo (CBCA) é adicionado ao compósito (em 10%), os corpos de prova submetidos à cura exposta passam pelo processo de cura interna, fazendo que o processo de hidratação ocorra naturalmente "de dentro para fora", enquanto que, os corpos de prova submetidos à cura úmida, devido ao alto teor de a/c associado com o poder adsortivo das partículas de CBCA provoca a saturação interna e externa do compósito, prejudicando desta forma certas propriedades mecânicas.
Ainda analisando *Tukey*, tanto na cura úmida quanto na exposta, os percentuais de 10 e 15% mostram-se diferentes do concreto de referência.

4.3 Absorção de água por capilaridade

Os resultados médios do índice de absorção de água por capilaridade, o desvio padrão e o coeficiente de variação para os concretos estudados, encontram-se na Tabela 4.

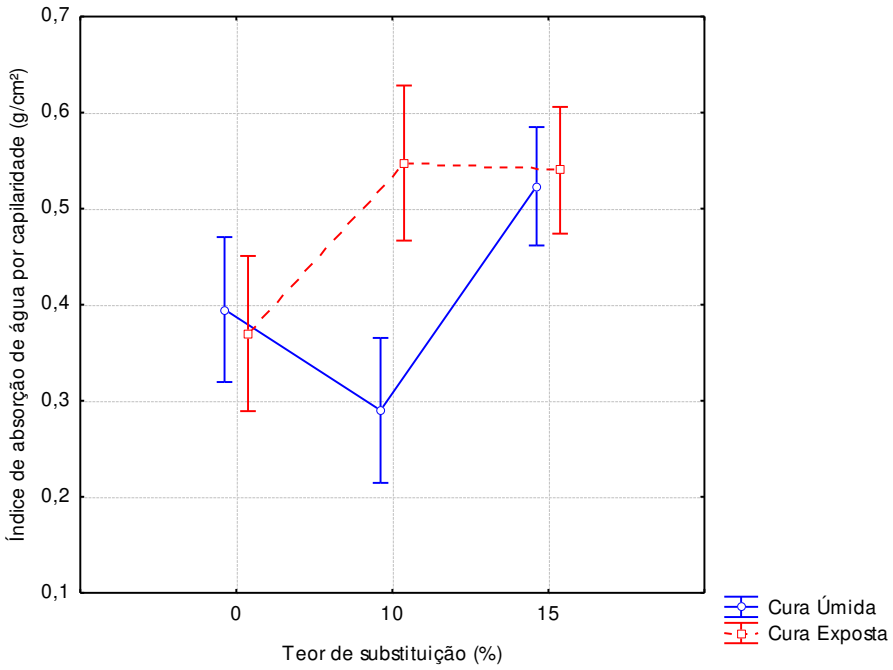
Tabela 4 – Resultados médios do ensaio de índice de absorção de água por capilaridade

Teor de substituição (%)	Cura	Absorção de água média 72h (g/cm²)	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
0	Úmida	0,42	0,05	12,74
0	Exposta	0,37	0,05	14,63
10	Úmida	0,29	0,007	24,90
10	Exposta	0,55	0,012	20,00
15	Úmida	0,53	0,01	2,79
15	Exposta	0,54	0,01	2,71

Fonte: Autor (2019).

A partir da Tabela 4, percebe-se que para a cura úmida houve um decréscimo no teor de 10% em 30,95% na absorção de água, já para o teor de 15%, ocorreu um acréscimo de 26,19%, quando comparados ao concreto de referência. Analisando a cura exposta, nota-se o aumento nas absorções para os teores de 10% e 15%, em 48,64% e 45,94%, ambos em relação ao teor de referência.
O efeito combinado das curas com os teores de substituições de CBCA sobre a absorção de água por capilaridade dos concretos, apresenta-se no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Absorção de água: Efeito combinado das curas com os teores de substituições



Fonte: Autor (2019).

Avaliando o Gráfico 3, percebe-se que o tipo de cura não influenciou na absorção de água dos concretos com teores de 15% e 0% (referência), porém interferiu na substituição de 10%. Isso se deve a combinação do alto teor de a/c da mistura com a capacidade adsorvente da cinza do bagaço da cana-de-açúcar uma vez que, segundo Bonassa (2017), as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, assim como o carvão ativado, possuem estrutura porosa e mesoporosidades, fatores estes que podem influenciar positivamente na adsorção, como o ocorrido em cura úmida para a substituição de 10%.

Em contrapartida, tal comportamento não foi observado para os corpos de prova submetidos à cura exposta, uma vez que, ocorrendo apenas o processo de cura interna, sem a presença externa constante de umidade a absorção de água por capilaridade aumentou, indo de encontro ao relatado por Mendes (2015) que observou que concretos autoadensáveis apresentam elevada porcentagem de pasta, tornando o material mais poroso e higroscópico.

O referido autor observou ainda que as composições que apresentaram maior quantidade de pasta apresentaram também, maior valor de absorção e que este valor diminuiu com a diminuição do valor da relação a/c, tornando a pasta mais rica e impermeável.

Ainda, nota-se que para o teor de 15% nos dois tipos de cura (úmida e exposta) houve um elevado acréscimo na absorção, o qual pode ser justificado pela cinza apresentar maior porosidade em suas partículas. Quanto maior a porosidade maior será a quantidade de água absorvida e, consequentemente, menores as resistências (FIORITI, 2007).

Segundo *Tukey*, o percentual de 10% de CBCA com cura úmida foi o que apresentou o melhor desempenho frente à absorção de água, sendo estatisticamente igual ao concreto de referência com cura úmida.

4.4 Dureza superficial

Os resultados médios da avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão dos concretos estão apresentados a seguir na Tabela 5.

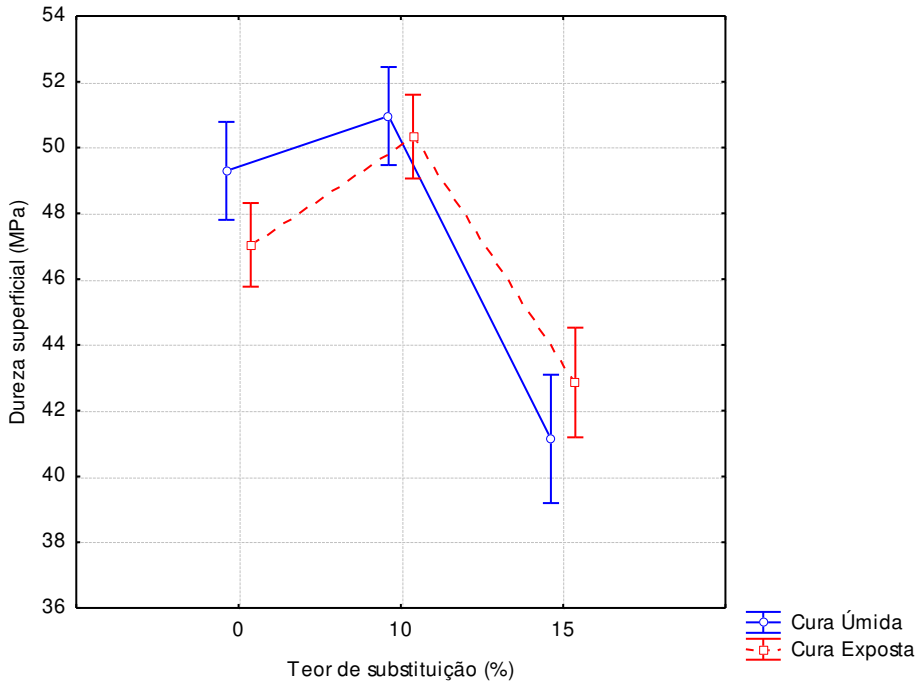
Tabela 5 – Resultados médios do ensaio de dureza superficial

Teor de substituição (%)	Cura	Dureza superficial média (MPa)
0	Úmida	48,96
0	Exposta	47,04
10	Úmida	50,87
10	Exposta	50,33
15	Úmida	41,14
15	Exposta	42,75

Fonte: Autor (2019).

Por meio dos resultados obtidos no ensaio de avaliação da dureza superficial, sabe-se que para a cura úmida, houve um aumento na dureza superficial dos concretos com teor de 10% em 3,90%, já para o teor de 15% ocorreu uma redução de 15,97%, comparados ao teor de referência. Para a cura exposta, obteve-se um aumento no valor da dureza superficial no teor de 10% em 7,00%, entretanto para o teor de 15% ocorreu uma redução de 9,12%, ambos em relação ao concreto de referência.
No Gráfico 4, apresenta-se o efeito combinado das curas com os teores de substituições de CBCA sobre a dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão dos concretos.

Gráfico 4 – Avaliação da dureza superficial: Efeito combinado das curas com os teores de substituições



Fonte: Autor (2019).

Observando o Gráfico 4, sabe-se que as curas (úmida e exposta) não interferiram na avaliação da dureza superficial dos concretos. Segundo Qasrawi (2000), os principais fatores que influenciam os resultados da dureza superficial do concreto pelo esclerômetro de reflexão são o tipo de agregado, o acabamento da superfície, proporcionamento do concreto, inclinação do esclerômetro, carbonatação, idade, umidade e tipo de cimento. As condições de umidade do concreto podem ser afetadas pelo método de cura adotado (EVANGELISTA, 2002).

Pode-se perceber uma considerável melhora no índice esclerométrico efetivo para os concretos que continham teor de 10% de CBCA em sua composição, isso pode ser explicado pela elevada exsudação observada no processo de concretagem que resultou no afloramento da cinza (em decorrência de sua baixa densidade) junto com a pasta de cimento fazendo com que, ao reagir com a água de exsudação, a CBCA oferecesse maior resistência à superfície da placa.
Os resultados obtidos neste ensaio quando comparados aos resultados de compressão uniaxial evidenciam a ineficiência deste ensaio para a determinação da compressão do concreto, por outro lado, revelam que o teor de substituição utilizado influencia nas propriedades de superfície.
Ainda por meio do teste de *Tukey*, pode-se dizer que o melhor resultado de dureza superficial foi para o teor de 10% com cura úmida, mostrando-se estatisticamente igual ao concreto de referência.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, buscou-se analisar a influência da utilização da CBCA nas propriedades mecânicas do CAA, quando utilizado em paredes de concreto moldadas *in* loco. A partir dos resultados obtidos nos ensaios realizados e posterior tratamento dos dados, foi possível apresentar as conclusões verificadas para as variáveis de resposta estudadas.
Em relação à resistência à compressão uniaxial, os compósitos que continham a CBCA em sua matriz apresentaram menor resistência do que o concreto de referência. Porém, por meio da análise do teste de Tukey, os concretos com 15% em cura exposta mostraram-se estatisticamente igual ao referência, ou seja, podendo ser feita a substituição sem perda significativa da resistência. Já para o teor de 10%, pode-se explicar a queda na resistência pela baixa pozolanicidade ocorrida aos 28 dias desse percentual de cinza, além da alta porosidade da mistura o que impediu a ocorrência do efeito *filler*.
Quanto ao módulo de deformação, o concreto com presença da CBCA em 10% com cura exposta apresentou melhores resultados do que a cura úmida e do que o teor de 15% (tanto com cura úmida, quanto exposta), uma vez que, devido ao poder adsortivo da CBCA, os fatores externos não prejudicaram a hidratação da matriz, já que este ocorre de dentro para fora devido ao processo de cura interna. Entretanto, por meio da análise de Tukey, os teores de 10 e 15% são consideravelmente diferentes do referência.
Em relação à absorção de água por capilaridade, os concretos produzidos com 10% de CBCA em cura úmida foram os que obtiveram os melhores resultados, uma vez que o efeito simultâneo do elevado teor a/c do compósito com o poder de adsorção das partículas da CBCA contribuiu para essa menor absorção.
Em relação às paredes de concreto moldadas *in* loco os resultados obtidos neste estudo foram relevantes uma vez que, apesar da resistência à compressão uniaxial do concreto com CBCA ter sido inferior à analisada para o concreto de referência, ela atendeu à resistência necessária para a utilização em PCAA, ficando acima dos 30 MPa requeridos em norma.
Contudo, é possível concluir que a substituição parcial do cimento Portland por CBCA no teor de 10% não apresentou índice de pozolanicidade e nem efeito *filler* suficiente aos 28 dias para que houvessem ganhos de resistência mecânica importantes para a matriz. Além de que, a re-calcinação do material provocou aumento na porosidade dos teores de 10 e 15%, o que, aliado ao alto teor a/c foi responsável por boa parte dos resultados obtidos. Infere-se ainda que a alta porosidade da CBCA favoreceu o processo de cura interna dos compósitos.
Por fim, presume-se que a introdução de cinza do bagaço de cana-de-açúcar possa ser considerada um material alternativo para a produção de concreto, porém recomenda-se submeter os concretos com CBCA a um maior tempo de cura, para avaliar o efeito pozolânico e a reatividade da cinza nos compósitos. Esperando assim, bons resultados com a aplicação da

mesma, bem como, disseminar o uso da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e contribuir diretamente para a diminuição de impactos ambientais, como a emissão de CO2 na atmosfera.

REFERÊNCIAS

ALYHYA, W. S. S. **Self-compacting concrete:** mix proportioning, properties and its flow simulation in the v-funnel. 2016. 312 f. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia da Universidade de Cardiff, Cardiff, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Parede de Concreto: coletânea de ativos 2007/2008.** São Paulo, 2008. Disponível em: http://www.comunidadedaconstrucao.com.br/upload/ativos/9/anexo/colpc0708.pdf. Acessado em: abr 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 7584: Concreto endurecido - Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 15823/2: Concreto auto adensável: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do cone de Abrams. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15823/4: Concreto auto adensável: Determinação da habilidade passante - Método da caixa L. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 15823/5: Concreto auto adensável: Determinação da viscosidade - Método do funil V. Rio de Janeiro, 2010.

_____. NBR 16055: Paredes de Concreto Moldada no Local para a Construção de Edificações – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 16605: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

BAHURUDEEN, A. *et al*. Performance evaluation of sugarcane bagasse ash blended cement in concrete. **Cement And Concrete Composites**, [s.l.], v. 59, p.77-88, 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.03.004.

BONASSA, G. **Aplicação das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar como material adsorvente na purificação de óleo residual.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energia na Agricultura, Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

BRESOLIN, G. **Influência das técnicas de cura na resistência do concreto e análise da incorporação de cal hidratada na técnica de cura por aspersão periódica de água.** Trabalho de Conclusão de curso - UNIVATES, Lajeado, 2016.

CASTALDELLI, V. N. *et al*. Concreto com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Canela, 2010. Anais... Canela: ENTEC, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar 2017/2018.** Brasília, p. 77, 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana. Acessado em: maio 2018.

CORTEZ, L.; MAGALHÃES, P.; HAPPI, J. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. SBPE – Sociedade Brasileira de Planejamento Energético – **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 2 - n° 2, 1992.

DAMINELI, B. L. **Conceitos para formulação de concretos com baio consumo de ligantes: controle reológico, empacotamento e dispersão de partículas.** 2013, 265f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

FIORITTI, C. F. **Pavimentos intertravados do concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2007.

MENDES, M. V. A. S.; BAUER, E.; SILVA, F. G. S. Avaliação dos parâmetros de autoadensabilidade e de reologia do concreto autoadesável. **Revista Matéria**, v. 22, n.4, 2017.

PAIXÃO, C. A. B. **Utilização de refugos de revestimentos cerâmicos (porcelanato e azulejo) em substituição à areia em argamassas cimentícias.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PAULA, M. O. de. **Potencial da cinza do bagaço de cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland.** 2006. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

PAULA, M. O.; TINOCO, I. F. F.; RODRIGUES, C. S.; SILVA, E. N.; SOUZA, C. F. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.13, n.3, 2009.

PITTA, M. R.. Cura de Pavimentos de Concreto. Techné, São Paulo, v. 88, 2004. Disponível em: http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/88/artigo286306-1.aspx. Acessado em: 25 nov. 2018.

QASRAWI, H. Y. Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. **Cement and Concrete Research**, 2000.

SAMPAIO, Z. L. M. **Análise do comportamento mecânico de concretos produzidos com incorporação de cinza do bagaço da cana-de-açúcar de variedades SP911049, RB92579 e SP816949.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SAMPAIO, Z. L. M. et al. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, Natal, Rn, v. 7, n. 4, p.626-647, ago. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/riem/v7n4/06.pdf. Acessado em: 23 nov. 2018.

SOUSA, L. R. L. de. **Viabilidade do uso de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) residuais do estado de Goiás como adição mineral ao cimento Portland.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

SOUZA, A. E.; TEIXEIRA, S.R.; SANTOS, G. T. A.; COSTA, F. B.; LONGO, E. Reuse of sugarcane bagasse ash (SCBA) to produce ceramic materials. **Journal of Environmental Management.** v.92, n.10, p.2774-2780, 2011.