

CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR: Pavimentos intertravados de concreto com cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Eloísa Araújo Rodrigues da Silva¹; Thaís Fernandes Queiroz¹; Malani Helena do Amaral^{2,4}; Lucas Henrique Lozano Dourado de Matos^{3,4*}

¹ Graduanda em Engenharia Civil, Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS; ² Engenheira Civil – FITL/AEMS, Esp. em Gestão de Produção e Logística Empresarial – UCAM, Esp. em Engenharia de Suprimentos – Faculdade Única; ³ Mestre em Engenharia Civil – UNESP; Especialista em Gestão de Projetos – ESALQ/USP; ⁴ Docente das Faculdades Integradas de Três Lagoas – FITL/AEMS

* autor correspondente: englhmato@gmail.com

RESUMO

Com a crescente demanda em construção civil nos dias atuais, muitas são as frentes que possibilitam a inserção de novas tendências que consideram a necessidade de garantir qualidade, baixo investimento, viabilidade de novos produtos, bem como a diminuição residual, promovendo o reaproveitamento, atentando para os cuidados ao meio ambiente, inserindo o que dantes era descartado a um novo produto que concilia, condições apropriadas e garantias de adesão ao contexto do mercado da construção. Como estratégia para a redução de impactos econômicos e socioambientais, é possível verificar a utilização de materiais alternativos, como os resíduos de pneus e a aplicação de diferentes formas das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar na substituição parcial do cimento ou como adição mineral. Observando estas importantes menções, o trabalho é apresenta-se como um levantamento bibliográfico, que promove a conduta destas novas perspectivas, que agregam as cinzas do bagaço da cana-de-açúcar (CBCA) como parte integrante ou substituta parcial do cimento no concreto para produção de blocos intertravados (*pavers*) apropriados para serem utilizados em calçadas, ciclovias, pavimentação, passeios, praças e outros uso, desse modo no manejo sustentável e promissor da demanda e baixo custo na promoção das construções civis.

PALAVRAS-CHAVE: cinza do bagaço da cana-de-açúcar; *pavers*; concreto.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o setor de construção civil tem sido o que mais gera impactos negativos ao meio ambiente. O concreto, um dos materiais mais utilizados no setor, é composto em sua maioria pelo cimento, cuja fabricação é responsável por 5% das emissões globais de dióxido de carbono, o gás de maior volume emitido contribuinte para o efeito estufa (LOPES, 2011).

Como estratégia para a redução desses impactos, é possível a utilização de materiais alternativos, como os resíduos de pneus e a aplicação de diferentes formas das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar na substituição parcial do cimento ou como adição mineral, no

qual reduzem as consequências ambientais e gera economia.

O Brasil é o país que mais produz cana-de-açúcar no mundo, o terceiro levantamento da safra 2019/20 mostra que a produção chegará a 642,7 milhões de toneladas, acréscimo de 3,6% em relação à safra anterior (CONAB, 2019). Devido ao recurso natural renovável, a indústria sucroalcooleira brasileira ganha destaque na área de biocombustível, por meio da geração de energia e etanol.

O fragmento dessas indústrias obteve uma nova forma de gerar energia em razão de suprir eletricidade satisfatória, processo que consiste na utilização do bagaço da cana como fornecedor de energia por meio de sua queima. O que é gerado como resíduo, a

cinza do bagaço da cana-de-açúcar, normalmente é descartada no solo junto com os outros resíduos industriais.

Os blocos intertravados, conhecidos como *pavers*, são peças pré-moldadas de concreto entre 6-10 cm de espessura, que proporcionam aderência e variedade de cores, capazes de serem utilizados em calçadas, ciclovias, pavimentação, passeios, praças, e outros usos, de acordo a sua resistência à compressão. Essa categoria da construção civil permite o uso das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar em sua composição.

Desta maneira o presente estudo acrescenta conhecimento, pois com ele através da teoria e a discussão dos teóricos, reafirma, buscar esclarecer através de um levantamento bibliográfico, dados capazes de ratificar a proposta e viabilidade da aplicação das cinzas em *pavers*, abordando os principais desafios, suas possibilidades, qualitatividade e sua implantação no mercado de construção civil, bem como a reutilização consciente de antigos descartes para novos objetos.

O trabalho tem como objetivo verificar a possibilidade de aplicação das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar substituindo parcialmente o cimento na confecção de *pavers*, verificar a possibilidade de substituição parcial do cimento pelas cinzas do bagaço da cana-de-açúcar, analisar o comportamento da adição das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar nas propriedades mecânicas do concreto e analisar o comportamento dos *pavers* quanto à resistência à compressão, durabilidade, absorção, análise dimensional e resistência ao impacto.

A presente pesquisa foi desenvolvida na base de dados do Google Acadêmico com as palavras-chaves: Cinzas do bagaço da cana de açúcar; blocos intertravados e *pavers*. Através de uma janela de pesquisa entre um período específico (2014-2020) com uma análise qualitativa em relação a relevância de comparação entre os temas.

De acordo com cada palavra-chave, foram encontrados os seguintes resultados no período citado: cinzas do bagaço da cana-de-açúcar: totalizou em 4074 artigos, sendo 24 relevantes e apenas 6 viáveis. blocos intertravados: totalizou em 1379 artigos, sendo 8 relevantes e apenas 2 viáveis. *pavers*: totalizou em 439 artigos, sendo 10 relevantes e apenas 3 viáveis.

2 USO DA CBCA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS

As etapas de destinação da cinza do bagaço da cana-de-açúcar têm sido estudadas para o seu uso no concreto, devido a uma variedade de aplicações, como: a substituição parcial e adição, do cimento e agregado miúdo, respectivamente.

2.1 Adição da CBCA no concreto

De acordo com Mota (2020), a coleta das cinzas de bagaço da cana-de-açúcar foi fornecida pela Destilaria Nova União S/A no município de Jandaia-GO. O material foi colocado em uma estufa à 105 °C durante 24 h para secagem e preparação das amostras das cinzas para realização dos tratamentos com a finalidade de avaliar a atividade pozolânica e então estimar qual é o tratamento mais eficiente. São eles: in natura (CN), cinzas trituradas (CT), cinzas calcinadas à 400 °C com duração de 3 h (C400), cinzas calcinadas à 600 °C com duração de 3 h e cinzas de requeima empírica (CR). Para as CN foi feito o ensaio de perda ao fogo, e para as demais amostras o ensaio de cálculo da massa específica que devido a existência de diferentes tratamentos as cinzas obtiveram resultados convergentes, sendo a C600 com menor massa específica e a CR maior massa específica. Após os tratamentos, as cinzas foram utilizadas em dois métodos: o método de desempenho com cimento Portland por 28 dias (análise física) e o

método de determinação do hidróxido de cálcio fixado conhecido como método Chapelle (análise química). Conclui-se que o método que obteve melhor resultado foi o tratamento Chapelle modificado, mesmo de acordo com seu índice elevado de alcalinidade.

Segundo Sampaio, Souza e Gouveia (2014), em suas análises com o comportamento de três espécies de CBCA (SP911049, RB92579 e SP816949) adicionadas no concreto, foram constatadas que todos os concretos com adição das diferentes espécies das CBCA obtiveram uma diminuição de 10% nas propriedades referentes à permeabilidade e um aumento de resistência à compressão de até 20% comparado ao concreto padrão aos 28 dias. Os ensaios realizados no cimento e nos agregados foram o de início de pega; expansibilidade; módulo de finura; massa específica e unitária. Nas cinzas composição granulométrica; módulo de finura; massa específica real e unitária; fluorescência e difratometria de raio x e pozolanicidade. Já no concreto foram realizados o ensaio de consistência; resistência à compressão; massa específica; absorção; índice de vazios e porosidade total. Com isso a adição das CBCA no concreto apresentou-se viável no aumento das propriedades mecânicas do concreto podendo ser usada de forma geral na construção civil, e trouxe uma perspectiva de destinação adequada ao subproduto agroindustrial.

Fernandes et al. (2015) analisaram a viabilidade técnica da utilização de cinza do bagaço de cana como adição mineral em concretos. Através da realização de ensaios de caracterização química e difração de raios-x na CBCA para prepará-las e incorporá-las no concreto com traços de adição nos teores de 5%, 10%, 15% e 20% e assim realizar os ensaios mecânicos. No ensaio de resistência à compressão o traço com 20% de adição de CBCA obteve os melhores resultados de resistência em

comparação com os outros traços com teores de 5%, 10% e de 15% de adição de CBCA e resultado semelhante ao traço de referência. No ensaio de resistência à tração por compressão diametral o traço com 20% seguiu a mesma evolução, apresentando resultados superiores aos demais traços. O traço de concreto com 20% de adição de CBCA foi o que apresentou melhores resultados, sendo assim submetido aos seguintes ensaios de durabilidade: resistência ao ataque químico, apresentando percentual de massa menor comparado ao traço de referência; ensaio de absorção por capilaridade, que resultou numa ascensão capilar maior comparado ao traço de referência; ensaio de penetração de cloretos com menor média de profundidade de penetração comparado ao traço de referência; e ensaio de abrasão que apresentou menor percentual de perda de massa comparado com o traço referência. Logo, o concreto com traço de 20% de adição de CBCA é indicado para aplicação na produção de artefatos para infraestrutura urbana, locais de mareasias significativas e para uso de estruturas aparentes de concreto armado.

2.2 Substituição da CBCA no concreto

Para que a utilização da cinza do bagaço de cana-de-açúcar possa interferir economicamente e ecológicamente na produção do concreto, Lopes, Brito e Sarmento (2014) avaliaram essa viabilidade do uso de cinza de bagaço de cana-de-açúcar *in natura*, submetidas ao ensaio de granulometria na substituição parcial de 10%, 20% e 30% do cimento Portland. Realizou-se o método de dosagem de concretos desenvolvido por Helene e Terzian (1995) que se baseia em resultados obtidos a partir de três traços com diferentes teores de cimento (Pobre, Médio e Rico). Para cada traço foram feitos quatro lotes, sendo um lote com a amostra sem uso de CBCA e um para cada porcentagem de substituição

de CBCA. Cada combinação de traço e substituição de CBCA foi composta por 9 corpos de prova, sendo três idades de rompimento (7, 14 e 28 dias) e realizando 3 repetições para cada idade, totalizando 108 corpos de prova. Com o ensaio de resistência à compressão analisou-se que conforme a porcentagem de CBCA em substituição ao cimento aumentava diminuía índice de resistência, mesmo com o aumento da idade. Porém, na substituição de 10%, os resultados de resistência à compressão foram semelhantes aos da amostra controle com 0% de adição de CBCA nos traços médio e rico. Entende-se que os resultados da substituição de 10%, 20% e 30% do cimento foram favoráveis, tendo a possibilidade de uso em construção.

Uma análise foi executada por Castro e Martins (2016) a fim de saber se há características necessárias da cinza pesada do bagaço de cana-de-açúcar para substituição da areia e da cinza volante do bagaço de cana-de-açúcar para substituição do cimento. Para isso, as cinzas foram personalizadas quanto à distribuição granulométrica determinada pelo peneiramento e pela sedimentação conforme sugere a NBR 7181 (ABNT, 1984a); índice de pozolanicidade determinada por meio do Método de Chapelle modificado (ABNT, 2010); massa específica determinada conforme a NBR 6508 (ABNT, 1984b); teor de umidade determinado a partir da secagem das amostras de resíduos em uma estufa por duração de 24h conforme especificações da NBR NM 24 (ABNT, 2003); perda ao fogo a partir da calcinação das amostras à temperatura entre 950 ± 50 °C por duração de no mínimo 50 min, determinada conforme a NBR NM 18 (ABNT, 2012); composição química determinada pelo espectrômetro de raios-X e; contaminantes determinados de acordo com as especificações da NBR 10005 (ABNT, 2004a) e solubilizado, de acordo com a NBR 10006

(ABNT, 2004b). De acordo com a NBR 15895 (ABNT, 2010), para um material ser considerado pozolânico ele deve apresentar uma pozolanicidade acima de 436 mg Ca(OH)_2 /pozolana. Logo, o resultado da amostra de cinza pesada apresentou 101 mg Ca(OH)_2 /g amostra, o que determina que este tipo de cinzas não possui atividade pozolânica, já o valor apresentado pela cinza volante foi de 569 mg Ca(OH)_2 /g amostra, podendo ser viável seu uso para substituição parcial do cimento. E a cinza pesada provou ser um material com características semelhantes às da areia, levando em consideração suas características determinadas pelos ensaios, sendo viável para adição mineral no concreto.

Uma substituição parcial do agregado miúdo em traços compostos por 10%, 20% e 30% de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar *in natura* peneiradas no concreto e um traço de concreto sem substituição para referência foram executados por Baltazar, Santos e Neto (2016), logo após essa etapa apresentou-se o traço de concreto com 30% de CBCA com maior absorção comparado com o de referência. E assim, submetidos ao ensaio de abatimento, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998) para verificação da trabalhabilidade dos traços para serem moldados corpos-de-prova. Durante o processo de cura os corpos de prova tiveram suas faces niveladas com enxofre para serem rompidos metade aos 7 dias e a outra metade aos 28 dias de idade no ensaio de resistência à compressão simples, determinada pela NBR 5739 (ABNT, 2007), nesse ensaio, todos os corpos de provas com substituição parcial da areia pela CBCA *in natura* obtiveram resistência inferior ao corpo de prova de referência o que foi argumentado pela falta de tratamento com as cinzas.

2.3 Substituição da CBCA no concreto em pavers

Altoé, Sales e Martins (2015) estudaram a possibilidade de diminuir o

consumo de cimento, utilizando também a CBCA como substituição do agregado miúdo no concreto, com teor de 25% na confecção de *pavers* com diferentes aplicações de cimento, são elas 300, 350 e 437 kg/m³, classificadas como pobre, médio e rico, respectivamente. As cinzas passaram pelo ensaio de classificação granulométrica, conforme a NBR 6502 (ABNT, 1995), foram classificadas como areia média, ficando mais de 50% das cinzas retidas na peneira de 0,200 mm; e pelo ensaio de massa específica resultando em 2,66 g/cm³ semelhante à areia utilizada na confecção de *pavers*. Com esses resultados, a CBCA mostrou ser viável para esse uso e então foram realizados 6 traços diferentes para os *pavers*, três com os 25% de teor de substituição da areia por CBCA e os outros três como referência. Os *pavers* foram submetidos a ensaios de resistência à compressão, em que os *pavers* com CBCA na composição apresentaram resultados maiores comparados com os de referência. Para o traço rico, o aumento foi de 25,17% atingindo 39,09 MPa, resultado superior a 35 MPa que corresponde ao valor exigido pela NBR 9781 (ABNT 2013) para vias de tráfego para veículos de linha comercial. Já o traço pobre atingiu 15,26 MPa e o médio atingiu 29,13 MPa, resultados inferiores ao exigido pela norma, mas indicados para uso de solicitações leves. Deste modo, a melhor substituição foi a de 25%.

Para Martins et al. (2015), que analisaram a atividade pozolânica das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar queimadas a 800 °C e, para não perderem suas características, foram passadas por um período de secagem primeiramente em temperatura ambiente e depois em estufa a 100 °C por 48 h. Após esse processo, realizou-se a análise CBCA leve por meio dos ensaios de análise granulométrica dos materiais, massa específica, teor de umidade e índice de atividade pozolânica, que

caracterizaram a CBCA com granulometria semelhante ao de silte, sua massa específica semelhante ao hidróxido de cálcio, teor 2,12% de umidade e índice de pozolanicidade de 480 mg Ca(OH)₂/g na amostra determinada pelo Método de Chapelle. Os *pavers* foram produzidos com substituição parcial do cimento pela cinza leve, em porcentagens de 0%, 2,5%, 5% e 7,5%, totalizando 48 *pavers* confeccionados, sendo 12 para cada traço. Esses *pavers* foram submetidos a testes de resistência à compressão simples e absorção de água. A resistência média à compressão dos *pavers* de referência foi de 46,05 MPa, dos com 2,5% igual a 23,27 MPa, com 5% foi de 18,50 MPa e os com 7,5% resultou em 14,30 MPa. Para o ensaio de absorção de água os *pavers* foram levados para uma estufa por 24 h, depois foram retirados para serem pesados, em seguida colocados em um tanque de água por mais um dia, depois retirados para obtenção dos seus pesos saturados. Em vista disso, conclui-se que, a CBCA pode substituir o cimento Portland, limitando o mesmo e reduzindo danos causados na fabricação.

Martins Filho e Martins (2017) investigaram a possibilidade da utilização de CBCA leve peneirada na malha 425 µm para substituição parcial do cimento Portland e CBCA pesada adquirida das cinzas que caem embaixo da fornalha no processo da queima e peneiradas na malha 0,6 mm, para substituição parcial do agregado miúdo no concreto que será utilizado na produção de *pavers*. Verificando-se a análise granulométrica de acordo com a NBR 6502 (ABNT 1995) a CBCA leve obteve porcentagens semelhantes ao silte e a CBCA pesada semelhantes à areia fina, no índice de atividade pozolânica pelo método Chapelle a CBCA leve resultou em 569 mg Ca(OH)₂/g com índice maior que o mínimo exigido de 436 mg Ca(OH)₂/g, o que mostrou ser um material considerado como pozolânico e a CBCA pesada em

101 mg Ca(OH)₂/g, sendo assim não classificada como pozolânica. Os *pavers* foram confeccionados com teores de substituição das cinzas nos traços adotados em até 10% de cinza leve pelo cimento Portland e 25% de cinza pesada pelo agregado miúdo, e tiveram processo de cura ambiente com duração de 24 h, depois em câmara úmida até os 28 dias. Para avaliá-los, foi levado em consideração seu tipo de utilização, se fazendo necessário ensaios de resistência à compressão; abrasão determinada pelo método CIENTEC; absorção de água e; análise da microestrutura do concreto (MEV) por meio de microscópio eletrônico de varredura de elétrons.

Desse modo, os índices de 2,5% e 25%, respectivamente de cinza leve e cinza pesada, houve padrão satisfatório quanto ao traço e resistência, tendo bons resultados.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final dos resultados obtidos, a incorporação da CBCA no concreto se apresentou viável no aumento das propriedades mecânicas do mesmo, essa melhoria é maior com o aumento do percentual de adição, com estimativa de até 30% para gradação de resistência a compressão, resistência a tração e durabilidade, porém exibe redução de plasticidade e permeabilidade do concreto.

A CBCA usada para substituição parcial da areia e/ou do cimento no concreto evidenciou possíveis alterações em teores de troca, sendo assim executável para pavimentos, como *pavers* com padrão satisfatório de resistência nesse emprego.

De forma coerente, o trabalho ganha amplitude, pois através dos teóricos, podemos comprovar as perspectivas que garantem a viabilidade e o uso do CBCA como parte integrante ou em substituição parcial do cimento no concreto para fabricação de *pavers*,

gerando a demanda a qual se destina a reutilização de descartes, a consciência ambiental e diminuído custos, atentando para uma nova possibilidade que considere as necessidades de minimizar impactos ambientais, sobretudo permitir esta inclusão satisfatória nos meios das construções.

REFERÊNCIAS

ALTOÉ, S. P. S.; SALES, A.; MARTINS, C. H. Análise da redução do consumo de cimento em *pavers* fabricados com cinza do bagaço de cana-de-açúcar em substituição do agregado miúdo. Anais Eletrônico, Maringá, Pr, n. 9, p. 4-8, 06 nov. 2015.

BALTAZAR, E. D. M.; SANTOS, L. A. P. do; CORDEIRO-NETO, M. M. Avaliação mecânica da viabilidade do uso de cinzas do bagaço da cana-de-açúcar no concreto. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. n. 3. Brasília: Conab, 2019. 6 v.

DE CASTRO, T. R.; MARTINS, C. H. Caracterização das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar como material alternativo para redução de impactos ambientais. Mix Sustentável, v. 2, n. 1, p. 12-19, 2016.

FERNANDES, S. E. et al. Cinza de bagaço de cana-de-açúcar (CBC) como adição mineral em concretos para verificação de sua durabilidade. Matéria (Rio de Janeiro), [S.l.], v. 20, n. 4, p. 909-923, dez. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620150004.0096>.

LOPES, B. C. S.; BRITO, A. F. S.; SARMENTO, A. P. Análise da viabilidade da utilização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar como substituição parcial do cimento Portland. Reec: Revista

Eletrônica de Engenharia Civil, Goiás, v. 9, n. 3, p. 32-40, 24 nov. 2014. Disponível em:

<<http://revistas.ufg.br/index.php/reec/index>>. Acesso em: 24 nov. 2014.

LOPES, D. F. Créditos de carbono na indústria do cimento. 2011. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MARTINS, C. H. et al. Análise da atividade pozolânica da cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar e sua aplicação na produção de *pavers*. Revista Tecnológica, [S.l.], v. 24, n. 1, p. 53, 10 set. 2015. Universidade Estadual de Maringá.

<http://dx.doi.org/10.4025/revtecnol.v24i1.24852>.

MARTINS-FILHO, S. T.; MARTINS, C. H. Utilização da cinza leve e pesada do bagaço de cana-de-açúcar como aditivo mineral na produção de blocos de concreto para pavimentação. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, Maringá, Pr, v. 10, n. 4, p. 1205-1224, dez. 2017.

MOTA, J. Rezende. Atividade pozolânica das cinzas de bagaço de cana de açúcar submetidas à diferentes tratamentos. 2020. 42 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, Go, 2020.

SAMPAIO, Z. L. M.; SOUZA, P. A. B. F.; GOUVEIA, B. G. Análise da influência das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar no comportamento mecânico de concretos. Ibracon: Revista IBRACON de estruturas e materiais, Natal, Rn, v. 7, n. 4, p. 637-647, 05 ago. 2014.