

ANÁLISE DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DA CINZA LEVE DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR E SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO DE PAVERS

ANALYSIS OF THEPOZZOLANIC ACTIVITY OFSUGARCANE BAGASSE FLY ASH AND ITS APPLICATION IN PAVERS PRODUCTION

Carlos Humberto Martins¹
Felipe Oliveira Mazzaro²
Sergio Tunis Martins Filho³
Liri Yoko Cruz Prieto Hojo⁴

Resumo: A expansão do setor da construção civil implica no aumento do consumo de recursos naturais, com isso as pesquisas tem buscado substituir os insumos da construção civil por resíduos industriais com potencial de reutilização. O Brasil é o maior produtor de açúcar e etanol, e, por este setor ser um potencial gerador de resíduos, este projeto utilizou um dos subprodutos da cana-de-açúcar para o estudo, a cinza leve gerada na queima do bagaço de cana-de-açúcar para co-geração de energia elétrica. Sendo assim, o trabalho tem como objetivo analisar a pozolanicidade da cinza leve do bagaço de cana-de-açúcar para substituir parcialmente o cimento Portland utilizado na produção de blocos de concreto intertravados (*pavers*). Inicialmente fez-se a análise da cinza leve por meio de caracterização física e química, análise da atividade pozolânica e posteriormente testes de resistência à compressão simples e absorção de água nos *pavers* produzidos com substituição parcial do cimento pela cinza leve, em porcentagens de 2,5 %, 5 % e 7,5 %. Os resultados comprovaram que a cinza levedo bagaço da cana é um resíduo viável para substituição parcial do aglomerante, pois na sua composição química apresentou-se com o mínimo exigido pela ABNT NBR 12.653 (2001), e, os índices de atividade pozolânica superiores aos mínimos exigidos pela ABNT NBR 15.895 (2010). A substituição parcial do cimento por cinza leve do bagaço da cana na produção dos *pavers* mostra-se viável em um teor de 5%, possibilitando sua utilização para solicitações leves tais como tráfego para pedestres.

Palavras-chave: Cinza leve do bagaço de cana de açúcar. Cimento Portland. Concreto. *Paver*.

Abstract: The expansion of construction sector implies increasing consumption of natural resources, reason for what the research has sought to replace the construction inputs for industrial waste with reusing potential. Brazil is the largest producer of sugar and ethanol, and for this sector be a potential to produce waste, this project used a byproduct of cane sugar for the study, the fly ash generated from burning sugarcane bagasse for cogeneration of electricity. Thus, the study aims to analyze the pozzolanicity of sugar cane bagasse fly ash to partially replace Portland cement used in the production of concrete block paving (*pavers*). Initially was done the analysis of fly ash through physical and chemical characterization, analysis of the pozzolanic activity and then compressive strength testing and water absorption in the pavers produced with the partial replacement of cement by fly ash in the percentages 2,5%, 5% and 7,5%. Results showed that the fly ash from sugarcane bagasse is a viable waste for partial replacement of the binder because the chemical composition presented with the minimum required by ABNT NBR 12.653 (2001), and the pozzolanic activity index greater than minimum required by ABNT NBR 15.895 (2010). The partial replacement of cement by sugarcane bagasse fly ash in the production of pavers is viable in a 5%, allowing its use for light request such as pedestrian traffic.

Keywords: Sugar cane bagasse fly ash. Portland Cement. Concrete. Pavers.

¹ProfDr., Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, chmartins@uem.br

² Engenheiro pela Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, felipemazz@gmail.com

³ Mestrando em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, sergiotunis@hotmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Urbana pela Universidade Estadual de Maringá-UEM, Departamento de Engenharia Civil-DEC, liriprieto@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, sendo sua produção destinada para açúcar e etanol.

As indústrias desse segmento desenvolveram uma nova forma de gerar energia elétrica através da queima do bagaço de cana-de-açúcar o que produz eletricidade suficiente para suprir a demanda da usina devido a seu alto poder calorífico (SALES; LIMA, 2010).

Um dos maiores desafios da indústria da construção civil, principalmente, nos países em desenvolvimento, é atender as necessidades da sociedade como um todo no que se refere às melhorias e ampliações do ambiente construído, seja na forma de moradia, edificações públicas e infraestrutura, com um emprego cada vez menor de recursos naturais (CHAMBERS; CHEN, 1999 apud JOHN, 2000).

O processo de queima do bagaço da cana de açúcar nas caldeiras é responsável por gerar dois tipos de cinza, uma proveniente do fundo das fornalhas (cinza pesada) e outra do lavador de gases acoplado à chaminé (cinza volante ou leve). No caso, a cinza utilizada para o estudo é proveniente do lavador de gases (HOJO, 2014).

Ainda segundo Hojo, a geração de cinza leve levantada na indústria que forneceu a cinza, variou de 96 a 330 ton/mês e o total gerado no ano de 2012 foi de 2.449 toneladas.

Conforme pesquisa de Souza (2007), a destinação da cinza do bagaço da cana de açúcar é um dos problemas enfrentados pelos administradores das usinas. A fuligem gerada no processo é recolhida a partir de técnicas de lavagem e decantação e, juntamente com a cinza de caldeira, constituem-se em resíduos finais do processo industrial, no qual não há possibilidade de redução do mesmo.

O Brasil, nos últimos anos, tem adotado medidas que incentivam a reciclagem e a punição de qualquer tipo de atitude que leve a degradação ambiental. A Lei n.º 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos foi sancionada com o objetivo de gerenciar os resíduos gerados e determinar as responsabilidades tanto dos geradores quanto do poder público. Essa determinação legal contribui para o surgimento de mais oportunidades e incentivo às pesquisas de cunho de aproveitamento sustentável desses resíduos.

Um setor que tem se mostrado promissor para a utilização de resíduos como fonte de matéria prima é o setor da construção civil. Resíduos das mais diversas origens têm sido aplicados com sucesso na fabricação de pavers, argamassas, concretos e elementos de vedação. Este trabalho visa estudar a potencialidade do reaproveitamento da cinza leve do bagaço da cana-de-açúcar na confecção de concreto para pavers, em substituição ao aglomerante cimento Portland (ALTOÉ, 2012).

Segundo Shackel (1990), os pavimentos intertravados (pavers) constituídos de blocos de concreto podem ser considerados pavimentos flexíveis, devido às suas características, em que se assemelham às dos pavimentos asfálticos, tais como de distribuição de cargas, de deflexão, entre outras.

Os pavimentos intertravados são compostos por peças pré-moldadas de concreto e constituem uma eficaz solução para uso em ruas, calçadas, calçadões e praças, sendo largamente difundida no Brasil, tanto na construção como na reconstrução e reabilitação destes tipos de instalações urbanas.

A utilização de concreto nas construções cresce anualmente, elevando consequentemente o consumo de cimento Portland e agregados naturais, matéria prima na confecção dos concretos. Por isso, a cinza do bagaço de cana de açúcar (CBC), subproduto da queima do bagaço como combustível na geração de energia tornou-se alvo de investigação como material substituto tanto no aglomerante quanto no agregado (CHUSILP, JATURAPITAKKUL E KIATTIKOMOL, 2009).

A ABNT NBR 9781:1987 estabelece limites de resistência à compressão de acordo com a utilização, para o caso em estudo, será considerada para solicitações de veículos

comerciais de linha, com no mínimo 35 MPa.

Segundo Fioriti (2007), os valores mínimos exigidos pela ABNT NBR 9781 (1987), ainda em vigor nas épocas dos ensaios, para o ensaio de resistência à compressão são muito elevados, pois os *pavers* de concreto também podem ser utilizados em ambientes com sobrecargas pequenas como calçadas, praças e ciclovias. Em países como a Austrália e África do Sul dispõem de normas que especificam a resistência mínima em 25 MPa.

Para a resistência mecânica limitada em 15 MPa tudo indica que é suficiente para suportar a sobrecarga que será exercida em calçadas, praças e locais com trânsito leve. Portanto, chega-se à conclusão que os valores de 35 e 50 MPa exigidos por norma poderiam ser revistos (FIORITI, 2007).

A proposta desse trabalho possui respaldo legal baseado na Lei n.º 12.305 (2010) ao tratar do aproveitamento eficiente da cinza leve do bagaço da queima da cana-de-açúcar como substituto de outras matérias primas da construção civil.

2 OBJETIVOS

Analisar a atividade pozolânica da cinza leve do bagaço de cana de açúcar de uma usina de co-geração de energia elétrica da região de Maringá - PR, para determinar a possibilidade da sua aplicação na substituição parcial do cimento Portland por essa cinza na confecção de *pavers*.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção (P02) e na Fábrica de Artefatos, ambos da Universidade Estadual de Maringá (UEM) – Campus Sede, localizado no município de Maringá – PR.

3.2 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a fabricação dos *pavers* foram cinza leve de bagaço de cana-de-açúcar (CBC), areia, pedrisco, água e cimento Portland composto com pozolana CPV-ARI.

A CBC utilizada foi proveniente de uma usina termoeletrica da região de Maringá. A cinza leve provém de um lavador de gases que está acoplado à chaminé e é disposto em uma lagoa de decantação (cinza leve), que foi o material utilizado e está apresentado na Figura 1. O material utilizado na pesquisa foi coletado no decantador, e a sua temperatura de queima foi de 800 °C.



Figura 1. Cinza volante na lagoa de decantação
Fonte: Autores

A amostra coletada na lagoa de decantação tinha um aspecto de lodo, e, para o material ser armazenado sem perder suas características, ou seja, sem ser degradado ou sofrer alterações biológicas por fungos e bactérias, a amostra foi seca em temperatura ambiente por dois dias e depois seca em estufa à temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 10$ por 48 horas no laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

Após a etapa de secagem, o material foi desgrumado com o auxílio de um almofariz e um mão de gral revestido de borracha. Essa cinza previamente seca foi armazenada em saco plástico dentro uma barrica de papelão para garantir que a umidade não danificasse e/ou provocasse a perda do material.

A água utilizada no ensaio foi proveniente da rede de abastecimento do município de Maringá – PR (SANEPAR), e os outros materiais – areia, pedrisco e cimento Portland – foram adquiridos na fábrica de artefatos da UEM, onde realizou-se a fabricação dos *pavers*. O cimento Portland atende as características físicas, químicas e mecânicas especificadas pela ABNT NBR 12653 (1991).

3.3 EQUIPAMENTOS

Os equipamentos utilizados na fabricação dos blocos intertravados para pavimentação (*pavers*) são as vibro-prensas multifuncionais. Essa denominação advém do tipo de mecanismo empregado para fazer com que o material de dosagem penetre as formas de aço do equipamento.

Fioriti (2007) destaca alguns benefícios da produção em escala com o uso equipamento, como o controle de homogeneidade das resistências mecânicas, da textura e das dimensões que podem ser adotadas durante o processo de fabricação.

Os *pavers* foram moldados na fábrica de artefatos da Universidade Estadual de Maringá, moldado em uma vibro-prensa modelo Beton MB 900P com capacidade de produção de 8 blocos por ciclo, com desfôrma sobre paletes, mostrada na Figura 2.



Figura 2. Vibro-Prensa, Modelo Beton MB 900P
Fonte: Autores

Para se chegar a etapa de moldagem dos *pavers* produzidos com a cinza leve de bagaço de cana-de-açúcar foi necessário conhecimento prévio dos agregados. Segundo o teste realizado no IPT, a cinza possui propriedade pozolânica, conforme descrito nos resultados. A areia e pedrisco utilizados foram retirados diretamente da fábrica de Artefatos, sendo o material padrão de produção da UEM.

E por fim a prensa hidráulica da marca EMIC – Equipamentos Metalúrgicos para Indústrias e Construção LTDA., modelo MEU 100 1981 – NO 1456 – NS 029, para ruptura à compressão simples dos *pavers*, Figura 3.



Figura 3. Prensa Mecânica
Fonte: Autores

3.4 MOLDAGEM DOS CORPOS-DE-PROVA

Os ensaios de moldagem e cura dos corpos-de-prova foram realizados segundo a norma ABNT NBR 9781 (1987), em vigor na época dos ensaios.

De acordo com a Norma ABNT NBR 9781:1987 o *paver* é uma peça pré-moldada de formato geométrico retangular, com comprimento máximo de 400 mm, largura mínima de 100 mm e altura mínima de 60 mm. Na maioria das normas, assim como na brasileira, as tolerâncias dimensionais para comprimento e largura variam entre 2 e 3 mm, enquanto para espessura a variação aceita está entre 2 a 5 mm. Ainda de acordo com a norma utilizada os *pavers* receberam o ciclo de cura natural, por um período de 48 horas, onde a cura foi realizada em condições ambientes. Posteriormente, os *pavers* foram colocados em câmara úmida onde permaneceram até as datas dos ensaios.

Utilizando a prensa da fábrica de artefatos, produziu-se os blocos de concreto de

dimensões 10,0 x 20,0 x 8,0 cm, a qual já possui vibração para distribuição do material nas formas.

Os *pavers* foram fabricados como base nos traços desenvolvidos por Amadei (2011) com consumo de cimento da ordem de 437 kg/m³, que corresponde a um traço rico. Para chegar ao traço ótimo Amadei (2011) utilizou o Método IPT/EPUSP adaptado por Helene (2005) para concretos secos. Esse alto consumo de cimento é necessário para que se consiga uma resistência à compressão mínima de 35 MPa, conforme estabelece a NBR 9871(1987).

Optou-se pela substituição do cimento pela cinza leve nas proporções, em massa, de 0%, 2,5, 5% e 7,5 % do total do cimento utilizado, pois segundo Hojo (2014) há viabilidade em substituir parcialmente até 7,5 % do cimento por CBC volante em concretos. Com as proporções citadas foram moldados 16 (dezesseis) *pavers* para cada traço, sendo 12 destinados para o ensaio de determinação da resistência à compressão simples e 3 para ensaio de absorção de água, conforme a ABNT NBR 9781 (1987), e 1 para segurança devido a exemplares defeituosos.

A mistura dos materiais foi realizada utilizando-se a betoneira. Após verificação da homogeneidade da mistura e o “*slump zero*” da massa, foram moldados os corpos-de-prova. Foram retirados logo após a moldagem, e deixado em local seco e arejado para a cura. Os testes de resistência e absorção foram feitos 28 dias após a moldagem dos mesmos.

A Tabela 1 apresenta as quantidades de materiais (kg) necessários para a moldagem dos 16 corpos-de-prova para cada traço com suas respectivas substituições de cimento por cinza leve.

Tabela 1. Traços, em massa, utilizados para moldagem dos *pavers*

TRAÇO	Consumo (kg/m3)	Cimento (kg)	Areia (kg)	CBC Leve (kg)	Pedrisco (kg)	a/ag	Água (l)				
T(0%)	437	1	12	2,65	31,8	0	0	1,35	16,2	0,42	5,04
T(2,5%)	437	0,975	11,7	2,65	31,8	0,025	0,3	1,35	16,2	0,42	5,04
T(5%)	437	0,95	11,4	2,65	31,8	0,05	0,6	1,35	16,2	0,42	5,04
T(7,5%)	437	0,925	11,1	2,65	31,8	0,075	0,9	1,35	16,2	0,42	5,04

Fonte: Adaptado de Amadei (2011)

3.5 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES DOS CORPOS-DE-PROVA

Os agregados utilizados foram previamente secos, para que não houvesse alteração no ensaio devido à umidade presente nestes.

A Figura 4 mostra a realização do ensaio de compressão simples no Laboratório de Materiais de Construção Civil da UEM, Bloco P02.



Figura 4. Ensaio de compressão simples

Fonte: Autores

Para a determinação da resistência foi utilizada a equação 1.

$$f_c = \frac{P}{A} * p \quad (1)$$

Sendo:

A= área do carregamento (mm²)

P = carga de ruptura em kN

f_c = Resistência a compressão

p = fator de correção previsto na ABNT NBR 9781 (1987) em função da altura dos *pavers* (Tabela 2).

Tabela 2. Fator multiplicativo

Altura das peças (mm)	"p"
60	0,95
80	1
100	1,05

Fonte: ABNT NBR 9781:2013

A ABNT NBR 9781 (1987) estabelece limites de resistência à compressão de acordo com a utilização, para o caso em estudo, será considerada para solicitações de veículos comerciais de linha, com no mínimo 35 MPa.

3.6 DETERMINAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS CORPOS-DE-PROVA

Segundo a ABNT NBR 12118 (1991), a absorção de água expressa, em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis em relação à sua massa em estado seco. Quanto menor a porosidade de uma peça, menor a quantidade de água que ela absorve, e com isto, maiores poderão ser suas resistências mecânicas e a sua durabilidade.

O valor a absorção de água, segundo a ABNT NBR 12118 (1991) deve ser menor do que 10%.

Para o ensaio foram utilizados 3 *pavers* para cada traço na idade de 28 dias.

O procedimento utilizado consistiu em primeiramente secar os *pavers* em estufa por 24 horas. Após a secagem, foram resfriados em temperatura ambiente e pesados (M1), por último foram imersos em um tanque contendo água com temperatura de 23±5°C por um período aproximado de 24 horas e pesados para obtenção da massa M2.

O valor da absorção de água de cada corpo de prova deve ser calculado utilizando-se a equação 2.

$$A = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

A = absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

M₁ = massa do corpo de prova seco, expressa em gramas(g);

M₂ = massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas(g).

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos nos ensaios experimentais são: Análise granulométrica dos materiais, massa específica, teor de umidade, índice de atividade pozolânica, resistência a compressão simples e absorção de água.

4.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo natural utilizado foi a areia fina, devido ao fato de ser o material padrão na confecção dos *pavers* no laboratório da Universidade Estadual de Maringá e na Fábrica de Artefatos da mesma instituição de ensino.

O ensaio da composição granulométrica da areia foi realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003.

Através dos dados obtidos, têm-se os seguintes resultados:

- Dimensão máxima característica: abertura (mm) correspondente a uma percentagem retida acumulada $\leq 5\%$ em massa: **1,2 mm**;
- Módulo de finura: soma das percentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividido por 100: $(0,02 + 0,19 + 0,66 + 5,58 + 65,84 + 99,28) / 100 = 1,71$.
- Materiais pulverulentos: partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, incluindo os materiais solúveis em água presente nos agregados: **0,46%**.

De acordo com a ABNT NBR 7211 (1984) a areia é classificada como areia muito fina, pois o valor do módulo de finura se enquadra na Faixa 1 (módulo de finura de 1,35 a 2,25) da tabela da norma referente.

4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO

O agregado graúdo utilizado foi a brita zero granítica, conhecido popularmente como pedrisco.

A composição granulométrica do pedrisco foi realizada de acordo com a NBR-NM248 (2003).

Através dos dados obtidos, temos os seguintes resultados:

- Dimensão máxima característica: abertura (mm) correspondente a uma percentagem retida acumulada $\leq 5\%$ em massa: **9,6 mm**.
- Módulo de finura: soma das percentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividido por 100: $(0,11 + 26,76 + 65,33 + 86,32 + 90,86 + 94,40 + 97,68) / 100 = 4,61$.
- Materiais pulverulentos: partículas minerais com dimensão inferior a 0,075 mm, incluindo os materiais solúveis em água presente nos agregados: **3,27%**.

4.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA CBC LEVE

O ensaio de granulometria foi realizado segundo com a ABNT NBR 7181 (1984).

A análise granulométrica do ensaio permite verificar que mais de 50%, ou seja, 85,53% da amostra ficou retida nas peneiras de 0,002 a 0,06 mm, e segundo a classificação da ABNT NBR 6502 (1995) são semelhantes ao silte. A amostra apresentou valores de uniformidade (U) próximos a 1 indicando uma curva granulométrica quase vertical, com pouca variação do diâmetro das partículas, o que indicou uma amostra “muito uniforme”. Esse valor indica que na distribuição granulométrica os espaços deixados pelas partículas maiores são ocupados pelas menores.

4.4 MASSA ESPECÍFICA DA CBC

O ensaio para determinação da massa específica foi realizado segundo a ABNT NBR NM 23 (2001), na qual se verifica a massa específica de cimento Portland e outros materiais em pó, por meio do frasco volumétrico de *Le Chatelier*.

O resultado do ensaio foi de 2,49 g/cm³, semelhante à massa específica do hidróxido de cálcio.

4.5 TEOR DE UMIDADE DA CBC

O ensaio do teor de umidade da CBC foi realizado na amostra de cinza volante previamente seca de acordo com a ABNT NM 24 (2012) “Materiais pozolânicos – determinação do teor de umidade”, através da secagem em estufa a 105 ± 5 °C por no mínimo 30 min, através de duas amostras de 1g cada.

O valor obtido foi de 2,12% de umidade. Este valor está abaixo do limite máximo de 3% estabelecido pela ABNT NBR 12653 (2012) que estabelece os pré requisitos químicos e físicos para serem caracterizados como “Materiais pozolânicos”.

4.6 ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA

A atividade pozolânica também foi determinada pelo Método de Chapelle modificado por Raverdy et al (1980), seguindo a ABNT NBR 15895 (2010) “Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado”, realizado pelo Laboratório de Materiais de Construção do IPT-USP e o valor obtido foi de 480 mg Ca(OH)₂/g na amostra.

Este resultado foi maior que o valor mínimo exigido pela ABNT NBR 15.895 (2010) de 436 mg Ca(OH)₂/g amostra, portanto, este ensaio permite afirmar que a CBC leve tem atividade pozolânica.

Os resultados do ensaio de Fluorescência de Raios-X indicam que as percentagens mais representativas foram dos óxidos SiO₂ (34,85%), Fe₂O₃ (36,29%) e o Al₂O₃ (6,54%), totalizando 77,7%, maior que o mínimo estabelecido pela ABNT NBR 12653:2012 de 50%. As altas quantidades de sílica e óxido férrico podem estar relacionadas ao solo de cultivo da cana de açúcar.

4.7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES

Os *pavers* foram ensaiados apresentaram as seguintes médias de cargas de ruptura e na idade de 28 dias após a moldagem para cada traço, conforme apresenta a Tabela 3 e Tabela 4.

Durante a fabricação dos *pavers*, foi priorizada a menor interferência possível, buscando repetir o mesmo procedimento de confecção para todos os traços, de modo a obter o máximo de veracidade nos resultados, totalizando o uso de 48 *pavers*, sendo 12 para cada traço.

Tabela 3. Resistência média à compressão dos *pavers*

Teor de Substituição (%)	Resistência média à compressão dos <i>pavers</i> (MPa)
0	46,05
2,5	23,27
5	18,50
7,5	14,30

Fonte: Autores

Tabela 4. Resistência característica à compressão dos *pavers*

Teor de substituição (%)	Resistência característica à compressão dos <i>pavers</i> (MPa)
0	43,17
2,5	20,91
5	16,62
7,5	12,73

Fonte: Autores

4.8 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Os *pavers* foram pesados e medidos previamente, e levados em estufa. Após 24 horas foram retirados e pesados, anotando-se os valores. Então foram colocados em um tanque de água, onde permaneceram por mais 24 horas. Quando retirados, secou-se a superfície de cada um, para que fossem pesados novamente, obtendo-se seu peso saturado. Após isto foram obtidas as seguintes médias de absorção para cada traço, conforme apresenta Tabela 5.

Tabela 5. Absorção média à compressão dos *pavers*

Teor de substituição (%)	Ensaio de absorção dos <i>pavers</i> (%)
0	6,66
2,5	10,18
5	9,58
7,5	12,22

Fonte: Autores

5 CONCLUSÕES

Observou-se que no ensaio de verificação da pozolanidade da cinza leve do bagaço da cana de açúcar realizado pelo IPT/USP, o resultado foi de 480 mg Ca(OH)₂/g, sendo superior ao mínimo exigido que é de 436 mg Ca(OH)₂/g. Este resultado indica que é possível utilizar a CBC leve como um substituinte parcial do cimento Portland, logo, a incorporação deste resíduo industrial na produção de *pavers*, irá funcionar tanto para redução do consumo de cimento na fabricação, quanto para evitar os impactos gerados na produção do cimento Portland, proporcionando uma adequada destinação para a CBC leve.

Na resistência à compressão dos *pavers*, somente o traço padrão (sem substituição de cimento por resíduo) atingiu a resistência mínima exigida pela norma que é de 35MPa. Porém o traço com substituição de 5% de cimento por cinza leve do bagaço da cana-de-açúcar, atingiu resistência superior a 15 MPa, e de acordo com Fioriti (2007) poderia para ser suficiente para locais com solicitações leves de tráfego (calçadas e praças).

Dos valores registrados para absorção, somente o traço sem substituição da CBC leve e teor de substituição de 5% ficaram abaixo do previsto em norma de 10%. Essa elevada absorção para os outros traços com substituição pode estar associada à má compactação da prensa no dia da moldagem, mas ainda pode ser tolerada visto que não foi significativa a diferença.

Portanto, a substituição do cimento por cinza leve do bagaço da cana-de-açúcar na produção de *pavers*, mostra-se viável em um teor de substituição de 5%, mesmo não atingindo o valor de resistência característica previsto em norma, pois ainda podem ser utilizados para solicitações leves, como para tráfego de pedestres.

REFERÊNCIAS

- AMADEI, I. B. A. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2011.
- ALTOÉ, S. P. S. Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção de blocos de concreto para pavimentação. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em engenharia urbana, Maringá, 2012
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento Portland e

outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 24: Materiais pozolânicos - Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15895: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502. Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de Ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 27 Jun. 2013.

CHUSILP, N.; JATURAPITAKKUL, C.; KIATTIKOMOL, K. Use of bagasse ash as pozzolanic material in concrete. *Building Materials and Construction*, v23, 2009, P3352-3358. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/bulmatcont>. 2009

FIORITI, C. Fabiano. Pavimentos Intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo. Tese (Doutorado). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

HELENE, P.R.L. Dosagem dos Concretos de Cimento Portland. In: ISAÍÁ, G.C. (Ed.). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo: IBRACON, 2v, 2005.

HOJO, L.H.C.P. Análise da atividade pozolânica da cinza volante do bagaço de cana-de-açúcar para substituição parcial do cimento Portland. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2014. 103p.

RAVERDY, M.; BRIVOT F.; PAILLERE A. M.; DRON, R.. *Appreciation de l'activite pouzzolanique des constituants secondaires*, 7 th International Congress Chemical Cement, Paris, III, IV, pag 36-41, 1980.

SALES, A; LIMA, S.A. (2010) Use of Brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. *Waste Management*, Vol. 30, p. 1114–1122.

SHACKEL, B. “Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavement”. 1st Edition. Elsevier, New York and London, 1990.