

# Waste tires and the burning of sugarcane bagasse in the manufacture of concrete pavers (pavers)

## *Resíduos de pneus e da queima do bagaço da cana-de-açúcar na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (pavers)*

S. P. S. ALTOÉ <sup>a,b</sup>  
[silviasossai@hotmail.com](mailto:silviasossai@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-4098-4257>

A. SALES <sup>b</sup>  
[almir@ufscar.br](mailto:almir@ufscar.br)  
<https://orcid.org/0000-0002-7766-5364>

C. H. MARTINS <sup>c</sup>  
[chmartins@uem.br](mailto:chmartins@uem.br)  
<https://orcid.org/0000-0001-7342-5665>

### Abstract

The research developed has the purpose of analyzing the potential utilization of sugarcane bagasse ash and tire residue in the construction of pavers in replacement of the small aggregate, the natural sand. In order to achieve this objective, the methodology adopted includes steps such as: characterization of the residues to be used, preparation of pavers with different contents of partial replacement of small aggregates, determination of the main pavers characteristics (compressive strength, water absorption, abrasion resistance). The results proved the viability of the substitution, and the optimum content for the manufacturing of the parts is 27%, being 25% of BCC and 2% of tires. The contribution of the research is focused on reducing the consumption of natural resources and the correct disposal of the residues studied.

**Keywords:** cinza do bagaço da cana-de-açúcar, pneus, pavers, reciclagem, durabilidade.

### Resumo

A pesquisa desenvolvida tem como proposta analisar a potencialidade de utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e do resíduo de pneus na confecção de blocos de concreto para pavimentação (pavers) em substituição do agregado miúdo, a areia natural. Para atingir este objetivo a metodologia adotada compreende etapas como: a caracterização dos resíduos a serem utilizados, confecção de pavers com diferentes teores de substituição parcial de agregado miúdo, determinação das principais características pavers (resistência à compressão, absorção de água, resistência à abrasão). Os resultados comprovaram a viabilidade da substituição, sendo que o teor ótimo para a fabricação das peças é de 27%, sendo 25% de CBC e 2% de pneus. A contribuição da pesquisa está voltada para redução do consumo dos recursos naturais e a correta disposição dos resíduos estudados.

**Palavras-chave:** sugarcane bagasse ash, tires, pavers, recycling, durability.

<sup>a</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana, Coordenação de Engenharia Civil, Maringá, PR, Brasil;

<sup>b</sup> Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, São Carlos, SP, Brasil;

<sup>c</sup> Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil, Maringá, PR, Brasil.

## 1. Introdução

Os diversos segmentos industriais buscam a cada dia novas tecnologias e sistemas gerenciais que contribuam para o aumento da produção visando atender a um mercado com alto poder de consumo e cada vez mais exigente. Porém, em contrapartida são resultantes desse comportamento produtivo: a necessidade de matéria-prima e a geração, cada vez maior, de resíduos, o que conduz a uma extração indiscriminada, porém ainda necessária, dos recursos naturais e a geração de resíduos de certa forma ignorada.

A cobrança por soluções que minimizem os impactos gerados por este cenário impulsiona os responsáveis pela produção a avaliar e analisar de forma diferente dois extremos da cadeia produtiva: a extração indiscriminada dos recursos naturais e as consequências de uma produção sem controle. Como resultado os setores produtivos buscam a aplicação de práticas e estratégias de gestão ambiental que demonstrem o seu comprometimento com esta nova realidade, agregando, desta forma, mais valor aos seus produtos frente a uma sociedade mais consciente da necessidade da busca pela conservação do ambiente (ROSA, 2007)<sup>[1]</sup>.

Uma solução para esta questão, apontada por várias linhas de pesquisa, para minimizar os danos causados ao ambiente e simultaneamente garantir a continuidade da produção é a utilização de materiais alternativos e a substituição, total ou parcial, dos recursos naturais, por meio da reciclagem de resíduos. Segundo John (2000)<sup>[2]</sup> a primeira e mais visível contribuição da reciclagem é a preservação dos resíduos naturais. Uma vez que se estes forem substituídos por resíduos pode-se afirmar que ocorrerá um prolongamento da vida útil das reservas naturais e uma redução da destruição da paisagem, flora e fauna.

O setor da construção civil é um dos setores mais promissores para a utilização de resíduos como fonte de matéria-prima. Sendo que resíduos das mais diferentes origens têm sido aplicados com sucesso na fabricação de argamassas, concretos, elementos de vedação, entre outros. Essa utilização de resíduos na construção civil vem ao encontro da necessidade do setor de diminuir os impactos ambientais por ele causados: atualmente se estima que a indústria da construção civil, seja responsável por 20 a 50% do consumo dos recursos naturais extraídos do planeta (JOHN, 2000)<sup>[2]</sup>.

No Brasil a abordagem à gestão de resíduos não foi tratada de forma clara e direta na legislação ambiental brasileira, sendo implícita e genérica até 2010 quando foi publicada a Lei n.º 12.305, denominada de Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)<sup>[3]</sup>, regulamentada pelo Decreto Federal n.º 7.404, de 23 de dezembro de 2010.

A PNRS visa o monitoramento dos resíduos gerados nos processos produtivos industriais e sua gestão integrada, e entre seus princípios estão a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

Desta forma, considera-se que as indústrias não são apenas responsáveis pelos resíduos gerados, mas também por seus produtos até o descarte final, que deverá ter destino ambientalmente correto. O processo produtivo deve ser visto como um todo e integrado à sociedade, de maneira tal que o reaproveitamento do resíduo ou sua reciclagem deve ser definido no início da produção.

A proposta apresentada por este trabalho é o reaproveitamento de dois resíduos por meio da substituição parcial da areia empregada na confecção de pavers, o que pode contribuir para diminuição da extração deste material, evitando, assim, a degradação do ecossistema local, devido ao assoreamento causado durante o processo. Para isto, a pesquisa visa estudar o reaproveitamento da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e do resíduo de pneus inservíveis na confecção de blocos de concreto para pavimentação (pavers), em substituição ao agregado miúdo.

Tanto a cinza do bagaço da cana-de-açúcar quanto o resíduo de pneus inservíveis são resíduos gerados, anualmente, em grandes quantidades, que tem tempo de decomposição lenta, e que normalmente ocupam grande volume em aterros, ou ainda, são lançados inadequadamente e de forma indiscriminada no ambiente, o que provavelmente tem contaminado o solo, o ar e a água, além de trazer sérios riscos à saúde da população.

Segundo a Associação Nacional das Indústrias Pneumáticas (ANIP, 2016)<sup>[4]</sup> a produção de pneus novos no ano de 2015 foi de 71,9 milhões de unidades, deste total 63,5 % teve como finalidade a reposição, ou seja, cerca de 45 milhões de pneus foram trocados somente no ano de 2015 no país. Ainda segundo a ANIP, desse montante, 46,8% são pneus usados que podem retornar ao mercado para serem ainda utilizados nos veículos ou submetidos a algum tipo de reforma, e 53,2% são pneus inservíveis, que não têm mais utilização veicular. Desde 1999, quando começou a coleta dos pneus inservíveis pelos fabricantes, até o final de 2014, mais de 3 milhões de toneladas de pneus inservíveis, equivalentes a 625 milhões de pneus de passeio, foram coletados e destinados adequadamente. A forma mais comum de destinação dos pneus inservíveis é como combustível alternativo para a indústria de cimento, seguida pela fabricação de granulado e pó de borracha para utilização em artefatos de borracha ou asfalto borracha, solado de sapato, dutos fluviais. Porém, o setor ainda afirma que existe a necessidade de novas aplicações para este material, uma vez que o volume de resíduos gerados anualmente é alto e muitas unidades ainda não são destinados aos 824 pontos de coleta existentes no território brasileiro.

No processo de beneficiamento da cana-de-açúcar o maior subproduto gerado é o bagaço da cana-de-açúcar, utilizado em larga escala como combustível em caldeiras para geração de energia que gera dois tipos de cinza: a cinza pesada e a cinza volante. Se for levado em consideração a da safra 2016/2017 com um montante de 690,98 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2016)<sup>[5]</sup>, e que todo o bagaço seria utilizado como fonte de energia seriam, então, produzidas aproximadamente 4 milhões de toneladas de cinza por ano.

Anualmente são utilizadas cerca de 378 milhões de toneladas de agregados na fabricação de concretos. A substituição deste agregado pelo resíduo reciclado além de contribuir para a redução da extração dos recursos naturais em grandes quantidades, também, pode colaborar para a redução de CO<sub>2</sub> durante o transporte do mesmo até o local de utilização.

Para análise da potencialidade da utilização dos resíduos propostos, foram confeccionados pavers com diferentes teores de substituição, que foram ensaiados de acordo com as normas vigentes, analisando características como: resistência, absorção de água e abrasão, definindo, assim, o teor ótimo de substituição de agregado miúdo pelos resíduos propostos.



**Figura 1**  
Unidade Usaçucar Igatemi

Fonte: Usaçucar (2015)

A metodologia empregada, bem como, as definições utilizadas neste trabalho são baseadas na metodologia e resultados obtidos no trabalho de Altoé (2013)<sup>[6]</sup>, onde foram analisadas combinações de traço e realizados os primeiros estudos sobre a resistência mecânica, absorção e abrasão de blocos de concreto para pavimentação. Este trabalho tem como objetivo o estudo da utilização da cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) e do resíduo de pneus inservíveis na substituição de agregado miúdo para confecção de blocos de concreto para pavimentação (pavers) sujeitos à solicitações leves.

Para atingir o objetivo principal desta pesquisa foram definidos os seguintes objetivos específicos: analisar as características da cinza do bagaço da cana-de-açúcar e dos resíduos de pneus inservíveis quanto à possibilidade de sua aplicação como agregado miú-

do; analisar a influência da substituição parcial do agregado miúdo pelos resíduos propostos na resistência à compressão, absorção de água e resistência à abrasão dos pavers; determinar os melhores teores ótimos de substituição a partir da interpretação dos dados obtidos nos diferentes ensaios realizados com os pavers.

## 2. Materiais e programa experimental

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Aglomerante

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CP V ARI, uma vez que mais utilizado pelos fabricantes de pavers. O CP V ARI é regulamentado ABNT NBR 5733:1991, sendo recomendado para o preparo de argamassas e concretos que conseguem elevadas resistências com maior velocidade (ABCP, 2002)<sup>[7]</sup>, e largamente utilizado na indústria de pré-moldados.

#### 2.1.2 Agregado graúdo

O agregado graúdo natural empregado na confecção dos blocos foi a brita zero, de origem basáltica, comercialmente conhecida como Pedrisco, com diâmetro entre 4,8 e 9,5 mm. A caracterização da areia utilizada na confecção dos pavers foi realizada de acordo com as seguintes normas: determinação da composição granulométrica (NBR NM 248:2003)<sup>[8]</sup>; determinação da massa unitária (NBR NM 045:2006)<sup>[9]</sup>; determinação da massa específica (NBR NM 53:2009)<sup>[10]</sup>.



(A)



(B)



(C)

**Figura 2**  
Aspecto visual da amostra de CBC: (A) CBC no estado bruto; (B) Material retirado da CBC; (C) Cinza peneirada

**Tabela 1**  
Características do aditivo

Fabricante	Nome	Tipo	Estado	Cor	Densidade	Ph	Consumo
Sika Brasil	SikaPaver HC-10	Plastificante para concreto semi-seco	Líquido	Vermelho	1,01 + 0,02 kg/l	7 + 1	0,2 a ,5 % em relação ao peso de cimento

Fonte: Fabricante, 2016



**Figura 3**  
Resíduo de pneu

### 2.1.3 Agregado miúdo

O agregado miúdo natural utilizado foi a areia média quartzosa. A caracterização da areia utilizada na confecção dos pavers foi realizada de acordo com as seguintes normas: determinação da composição granulométrica (NBR NM 248:2003)<sup>[9]</sup>; determinação da massa unitária (NBR NM 045)<sup>[9]</sup>, determinação da massa específica (NBR NM 52:2009)<sup>[11]</sup>.

### 2.1.4 Aditivo

Em todos os traços moldados foi utilizado o aditivo líquido para baixo consumo de cimento em concretos semi-secos. As características deste aditivo estão apresentadas na Tabela 1.

### 2.1.5 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A cinza do bagaço de cana-de-açúcar utilizada na pesquisa é proveniente da usina termoeletrica da Usina Santa Terezinha (Usaçucar), localizada no distrito de Iguatemi à aproximadamente 10 km de Maringá-PR. A Usina opera com duas caldeiras para a queima do bagaço de cana-de-açúcar, conforme ilustrado na Figura 1. As amostras podem ser vistas na Figura 2 (A) CBC em estado bruto, (B) Material retirado da CBC e (C) Cinza peneirada. A CBC foi caracterizada de acordo com os ensaios descritos a seguir:

- Atividade pozolânica - A atividade pozolânica foi determinada através do Método de Chappelle Modificado, seguindo a NBR

**Tabela 2**

Traços

Traço	Teor de substituição (%)		
		Pneu	CBC
T0	0%	0%	0%
T1	25%	0%	25%
T2	5%	0%	5%
T3	5%	5%	0%
T4	2%	2%	0%
T5	27%	2%	25%
T6	7%	2%	5%
T7	30%	5%	25%
T8	10%	5%	5%

15895:2010 (Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chappelle modificado)<sup>[12]</sup>, pelo Laboratório de Materiais de Construção do IPT-SP.

- Análise granulométrica - A determinação da análise granulométrica da CBC foi feita por meio de sedimentação e do peneiramento, seguindo a NBR 7181:1984 (Solo - Análise granulométrica)<sup>[13]</sup>, obtendo-se assim a curva granulométrica do material.
- Massa específica: A massa específica da CBC, por ser um material extremamente fino, deve ser determinada pela NBR 6508:1984(Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm)<sup>[14]</sup>.
- Ensaios de lixiviação e solubilização - O procedimento utilizado na obtenção do extrato lixiviado para a CBC seguiu a NBR 10005:2004 (ABNT:2004)<sup>[15]</sup>, assim como o procedimento da extração do solubilizado seguiu a 10006:2004 (ABNT:2004)<sup>[16]</sup>, sendo que, as amostras de lixiviado e solubilizado foram submetidas a determinação dos teores de contaminantes listados segundo os anexos F e G da NBR 10004:2004 (ABNT:2004)<sup>[17]</sup>, por meio de Espectrômetro de Absorção Atômica (EAA) 52 Varian - SPECTRAA-240FS e Cromatôgrafo de íons, Metrohm – 850 Professional IC.

### 2.1.6 Resíduo de pneu inservível

O resíduo de pneus utilizado na pesquisa foi fornecido pela empresa Borrachas SS, localizada na cidade de Maringá, que recebe resíduos de empresas de recauchutagem de pneu de toda região e é utilizado para fabricação de correias transportadoras. Este resíduo passa por um processo de separação, trituração e peneiramento, onde a borracha é separada dos demais componentes dos pneus. Após passar por este processo, o resíduo já na forma de pó, é aquecido e toma a forma do regenerado de borracha, posteriormente aplicado na fabricação das correias. Após a coleta da amostra foi realizado um peneiramento com a finalidade de retirar pedaços maiores de borracha que não ficaram retidos nas peneiras do equipamento da empresa. A Figura 3 mostra a amostra após o peneiramento. Os resíduos de pneu foram caracterizados de acordo com os ensaios descritos a seguir:

- Análise Granulométrica: Inicialmente as amostras de resíduo de pneus foram secas em temperatura ambiente por um período de 72 horas, garantindo assim que a amostra se encontrava seca para a realização dos ensaios de caracterização. A composição granulométrica foi determinada de acordo com a NBR NM 248:2003 (ABNT:2003)<sup>[9]</sup>, garantindo, assim, que o resíduo corresponda às características de agregado miúdo, uma vez que a proposta do estudo é a substituição deste agregado.
- Massa Unitária - O ensaio foi realizado de acordo com a NBR NM 45:2006 (ABNT:2006)<sup>[9]</sup>, utilizada para agregados com dimensões característica inferiores à 37,5 mm.
- Massa Específica - Por ser um resíduo fino, assim como a CBC, a massa específica deve ser determinada pela NBR 6508:1984 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica (ABNT, 1984)<sup>[14]</sup>.
- Ensaios de lixiviação e solubilização - O procedimento utilizado na obtenção do extrato lixiviado para a CBC seguiu a NBR 10005:2004 (ABNT:2004)<sup>[15]</sup>, assim como o procedimento da extração do solubilizado seguiu a 10006:2004 (ABNT:2004)<sup>[16]</sup>. Sendo que, as amostras de lixiviado e solubilizado foram submetidas a determinação dos teores de contaminantes listados segundo os anexos F e G da NBR 10004:2004 (ABNT:2004)<sup>[17]</sup>, por meio de Espectrômetro de Absorção Atômica (EAA) 52 Varian - SPECTRAA-240FS e Cromatôgrafo de íons, Metrohm – 850 Professional IC.



**Figura 4**  
Produção dos pavers

## 2.2 Dosagem, moldagem e ensaios dos blocos de pavimentação

### 2.2.1 Dosagem e moldagem

Com o objetivo de atender os requisitos da NBR 9781:2013 (ABNT:2013)<sup>[18]</sup>, a proporção entre aglomerante e agregado foi definida como 1:4, sendo que 55% do agregado utilizado é agregado miúdo e 45% agregado graúdo, conforme traço desenvolvido por Amadei (2011)<sup>[19]</sup>, traço este validado pelo método proposto por Fernandes (2012)<sup>[20]</sup> e indicado pela ABCP. Esta metodologia apresenta sistematicamente os procedimentos de dosagem, o que permite a reprodutibilidade em laboratório, além de ser sugerida por um órgão de representatividade.

Após definida a dosagem a ser utilizada na fabricação dos pavers, foram definidos os traços, baseados nos resultados obtidos na pesquisa de Altoé (2013)<sup>[6]</sup>. Nesta pesquisa foram analisados traços com diferentes teores de substituição, tanto de CBC quanto de pneu, ajustados no presente trabalho, delimitando traços com teores máximos e mínimos de substituição de cada resíduo utilizados na pesquisa de 2013, buscando o maior uso possível do resíduo em substituição ao agregado miúdo natural. A Tabela 2 traz os teores de substituição de cada traço. Foi adotada uma relação fixa de a/c de 0,42, conforme definido por Altoé (2013)<sup>[6]</sup>, não havendo necessidade de correções durante o processo de moldagem. A medição dos materiais para confecção de todos os traços foi feita em massa, de

forma a garantir uma maior rigorosidade no controle da produção. A Figura 4 mostra a sequência de produção das peças.

Os pavers, ficaram no pátio da fábrica durante 48 horas, sendo molhados três vezes ao dia, após este período foram levados ao Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual de Maringá onde permaneceram na Câmara Úmida até a realização dos ensaios previstos no Programa Experimental foram realizados.

### 2.2.2 Inspeção visual: dimensões, peso e cor

Foram separadas 6 peças de cada traço, na idade de 28 dias, para realização da inspeção visual, que consiste na medição, pesagem e verificação de cor das mesmas. Os parâmetros de peso e cor não são definidos em norma, porém foram adotados para verificar qualquer alteração entre as peças moldadas com adição de resíduos e as peças referência. Quanto ao parâmetro dimensional, a NBR 9781:2013 (ABNT:2013)<sup>[18]</sup> determina que as peças sejam medidas em suas três dimensões, espessura, largura e altura, não podendo haver variação de 3mm em qualquer uma das três. As peças, aos 28 dias, foram separadas, medidas, pesadas e analisadas quanto à cor conforme mostra a Figura 5.

### 2.2.3 Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão é tomado como parâmetro pela maioria das normas nacionais e internacionais, por isso esta



(A)



(B)

**Figura 5**  
Inspeção e medição das peças: (A) Pesagem das peças; (B) Medição das dimensões das peças



**Figura 6**  
Paver na prensa entre os discos

característica é de extrema importância na avaliação de desempenho dos pavers.

Neste trabalho o estudo desta propriedade é uma das características que define a viabilidade de substituição do agregado miúdo pelos resíduos. Esta substituição interfere diretamente na resistência à compressão do concreto, seja pela sua diminuição no caso do resíduo de pneus seja pelo seu aumento no caso da CBC. Além disto, a substituição combinada também será estudada. Para o ensaio de resistência à compressão foram fabricados 18 pavers para cada um dos primeiros traço definidos, que foram ensaiados com idade de 28 dias, conforme o definido pela norma NBR 9781:2013 (ABNT,2013)<sup>[18]</sup>.

O ensaio realizado seguiu o estabelecido na ABNT NBR 9781:2103 (Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio)<sup>[18]</sup>, que admite que todas as outras características dos pavers estão ligadas diretamente a esta propriedade. Para a realização dos ensaios, os pavers foram retificados e imersos em água por 24 horas, como exige a norma, e ensaiados no equipamento disponibilizado pelo laboratório, uma Máquina Universal de Ensaio (MEU) da marca EMIC. A Figura 6 mostra um paver sendo ensaiado à compressão

#### 2.2.4 Ensaio de absorção de água

Segundo a NBR 9781:2013 (ABNT,2013)<sup>[18]</sup> a absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

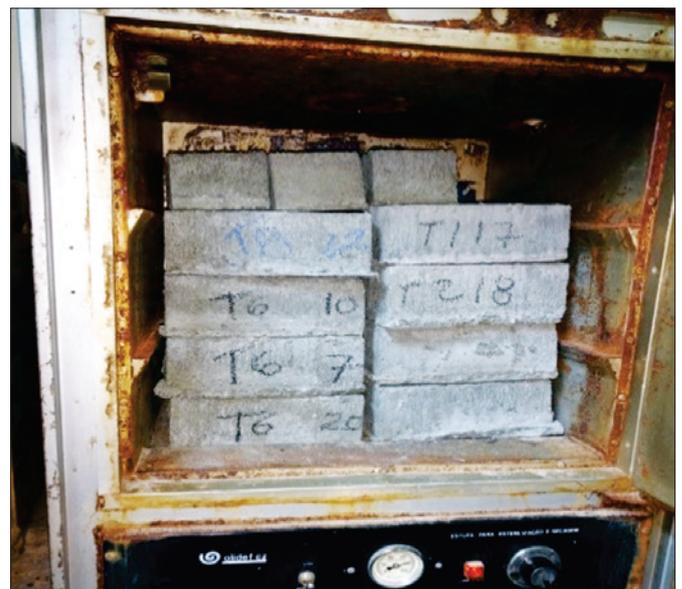
Segundo Fioriti (2007)<sup>[22]</sup>, a absorção de água por imersão está relacionada com a medição do volume de poros do concreto, e não à facilidade com que o fluido penetra no mesmo. A absorção de água está intimamente ligada aos vazios (poros) existentes na matriz de cimento. Quanto maior a porosidade das peças, maior sua absorção de água. Esses espaços não preenchidos podem vir a ocasionar perda de durabilidade e de resistência mecânica das peças, assim como aumento da lixiviação de substâncias químicas contidas na mesma. O ensaio realizado baseou-se na NBR 9781:2013 (ABNT,2013)<sup>[18]</sup>. Para o ensaio foram utilizados 3 pavers para cada traço na idade de 28 dias, a Figura 7 mostra os pavers imersos em água e também secos na estufa.

#### 2.2.5 Ensaio de resistência à abrasão

A abrasão está diretamente ligada à resistência do pavimento ao



(A)



(B)

**Figura 7**  
Ensaio de absorção: (A) Pavers imersos; (B) Pavers na estufa

**Tabela 3**  
Características do Cimento CP V ARI

Item de controle	Unidade	Dados do fabricante	NBR 5737/ NBR 5733
Resistência 24 horas	MPa	27	> 14
Resistência 3 dias	MPa	37	> 24
Resistência 7 dias	MPa	42	> 34
Resistência 28 dias	MPa	48	-
Blaine	cm <sup>2</sup> /g	5330	> 3000
Início de pega	Min	160	≥ 60
Fim de pega	Min	265	≤ 600

Fonte: Cauê, 2016

**Tabela 4**  
Caracterização do agregado miúdo

Característica	Unidade	Valores
Massa específica	g/cm <sup>3</sup>	2,655
Massa unitária no estado solto	g/cm <sup>3</sup>	1,635
Diâmetro máximo característico	mm	1,2
Módulo de finura	-	1,68

desgaste, sendo tão importante quanto às outras propriedades requeridas aos pavers. A NBR 9781:2013 (ABNT :2013)<sup>[18]</sup> prevê e descreve o ensaio de abrasão, porém faz dele uma escolha facultativa. Por não ser um ensaio obrigatório e por não ser muito comum, tanto empresas fabricantes quanto pesquisadores ainda adotam outros métodos para estudar este parâmetro. Dentre as diversas possibilidades o método utilizado para a determinação da abrasão dos pavers, foi o Método CIENTEC, disponibilizado no Rio Grande do Sul. Foram ensaiados 1 paver para o traço tido como teor ótimo de substituição quanto ao parâmetro de resistência à compressão, com idade de 28 dias, uma vez que este é um ensaio dispendioso. A proposta é a realização de uma comparação entre o traço com teor ótimo e o traço referência.

**Tabela 5**  
Caracterização do agregado graúdo

Característica	Unidade	Valores
Massa específica	g/cm <sup>3</sup>	2,900
Massa unitária no estado solto	g/cm <sup>3</sup>	1,516
Diâmetro máximo característico	mm	6,30
Módulo de finura	-	4,49

### 3. Resultados e discussões

#### 3.1 Caracterização dos materiais

##### 3.1.1 Aglomerante

O cimento utilizado foi o Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V ARI), que confere às peças alta resistência inicial já no início do processo de cura. As características do material foram obtidas junto ao fabricante e constam da Tabela 3 e atendem as normas brasileiras com relação ao limite mínimo de qualidade.

##### 3.1.2 Agregado miúdo

Os resultados dos ensaios de caracterização do agregado miúdo: determinação de massa específica, massa unitária no estado solto, diâmetro máximo característico e módulo de finura constam da Tabela 4 e a Figura 8 mostra a curva de distribuição granulométrica.

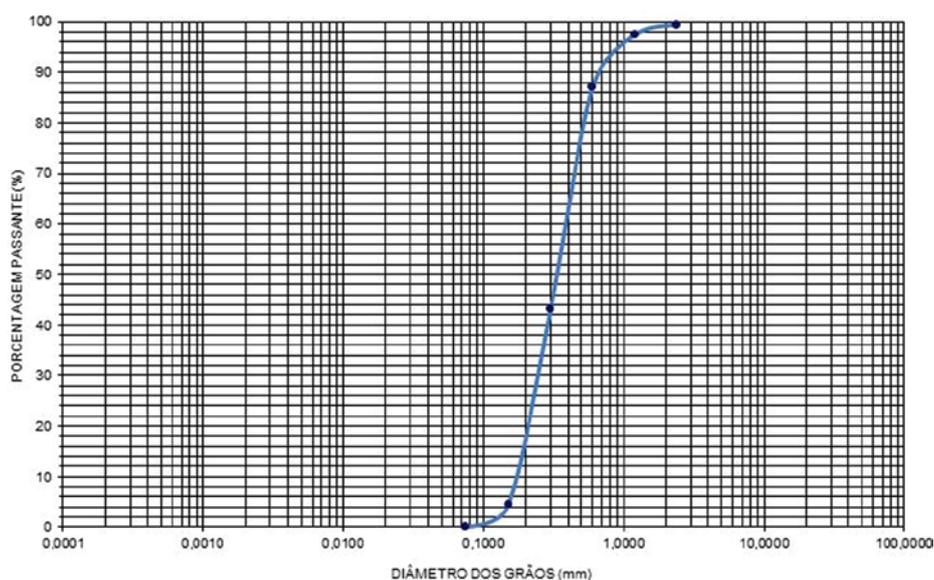
##### 3.1.3 Agregado graúdo

Os resultados dos ensaios de caracterização do agregado graúdo: determinação de massa específica, massa unitária no estado solto, diâmetro máximo característico e módulo de finura constam da Tabela 5 e a Figura 9 mostra a curva de distribuição granulométrica.

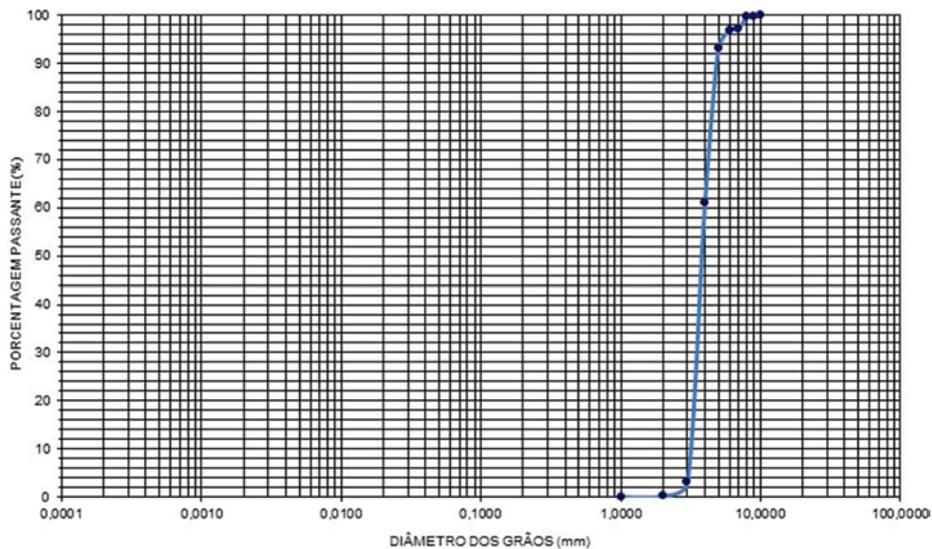
##### 3.1.4 Cinza do bagaço da cana-de-açúcar - CBC

###### 3.1.4.1 ATIVIDADE POZOLÂNICA

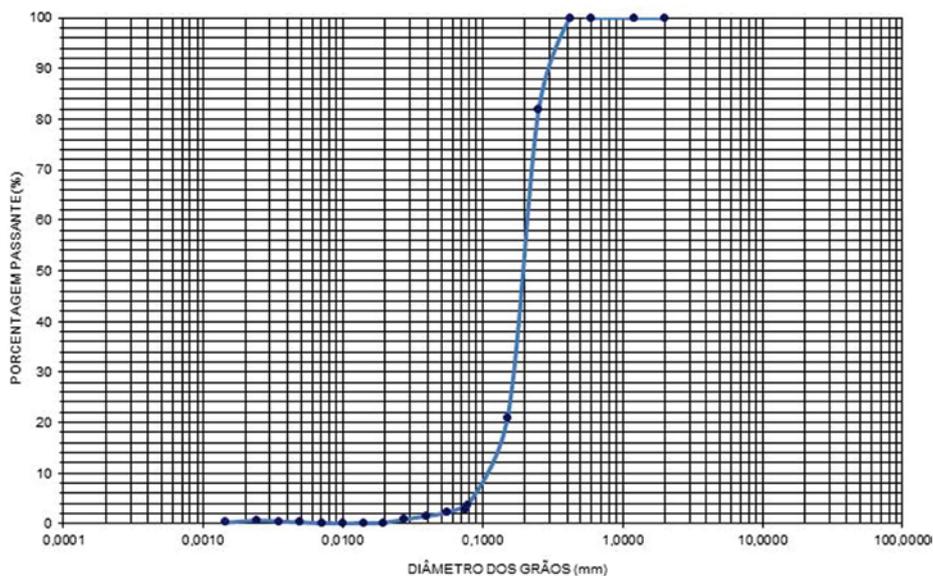
O ensaio de atividade pozolânica foram realizados no IPT – Instituto de



**Figura 8**  
Curva distribuição granulométrica agregado miúdo



**Figura 9**  
Curva distribuição granulométrica agregado graúdo



**Figura 10**  
Curva granulométrica - CBC

Pesquisas Tecnológicas de São Paulo seguindo o Método de Chappelle Modificado conforme as diretrizes da NBR 15895:2010 (ABNT,2010) [12] e o procedimento IPT123-CT-OBRS-LMCC-Q-PE-041 – Revisão 1[25]. A amostra analisada apresentou um índice de atividade pozolânica de 137 mg Ca(OH)2/g de amostra, o que segundo a norma NBR 15894-1:2010 (ABNT, 2010)[12] não é indicativo de material pozolânico, uma vez que para se caracterizar desta forma o material necessita apresentar um índice maior ou igual a 750 mg Ca(OH)2/g.

### 3.1.4.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A Análise Granulométrica foi realizada pela combinação entre

peneiramento e sedimentação seguindo a NBR 7181:1984 (ABNT, 1984)[13]. A Figura 10 traz o resultado do ensaio realizado.

Conforme pode ser observado na curva de distribuição granulométrica 79% da cinza ficou retida entre as peneiras 0,06 a ,2 mm, na classificação da NBR 6508:1995 (ABNT, 1995)[14] elas são semelhantes as areias finas. A amostra apresentou o valor de uniformidade igual a 1,25 o que indica uma curva granulométrica quase vertical, ou seja os diâmetros variam em um intervalo pequeno, indicando uma amostra com distribuição uniforme. A graduação da amostra pode ser classificada com boa graduação com valor do coeficiente de distribuição granulométrica próximo a 1.

**Tabela 6**

Massa específica e teor de umidade da CBC

		Massa específica	
Item		Amostra	
		1	2
Capacidade do picnomêtro (ml)	-	22/500	24/200
Amostra úmida (g)	P1	60	60
Amostra seca (g)	-	59,92	59,92
Picnomêtro + Solo + Água (g)	P2	654,34	648,04
Picnomêtro + Água	P3	616,56	610,22
Temperatura ensaio (°C)	-	24,8	25,0
Massa específica da água (g/cm <sup>3</sup> )	-	0,9971	0,9971
Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	Gs	2,70	2,70
Massa específica dos grãos (médio) (g/cm <sup>3</sup> )	Gs (médio)	2,70	
Determinação do teor de umidade			
Cápsula n°	20	50	78
Amostra úmida + cápsula (g)	76,69	83,64	72,87
Amostra seca + cápsula (g)	76,61	83,54	72,81
Massa cápsula (g)	18,35	18,27	14,35
Umidade (%)	0,14	0,15	0,10
Média		0,13	

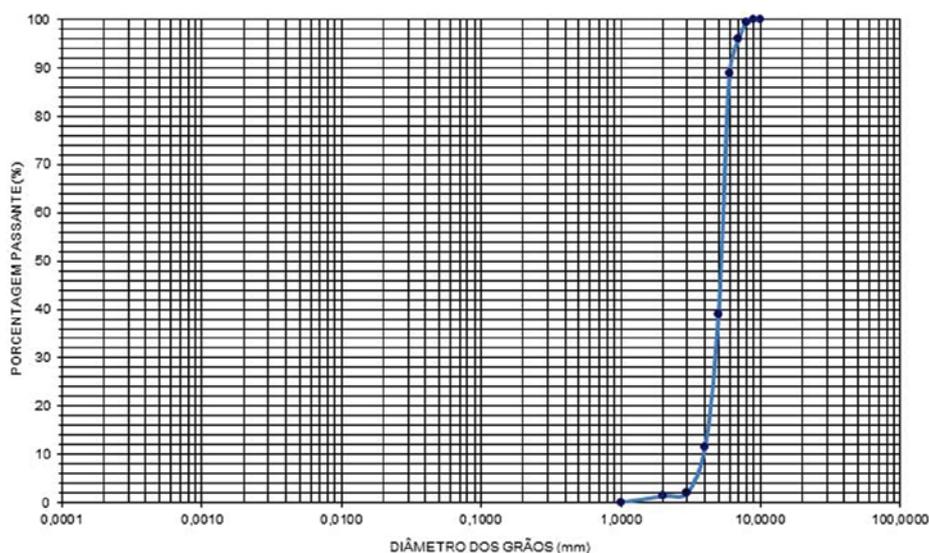
### 3.1.4.3 MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE

Os resultados do ensaio para determinação de massa específica, realizado de acordo com a metodologia proposta na ABNT NBR 6508:1984 (ABNT, 1984) <sup>[14]</sup>, contam da Tabela 6. O teor de umidade da amostra consta da Tabela 6.

O valor da massa específica da cinza ficou muito próximo do valor da areia utilizada neste trabalho, cujo valor da massa específica foi de 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.1.4.4 ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

Os valores do ensaio do extrato lixiviado se mantiveram dentro dos parâmetros estabelecidos pelo Anexo F da NBR 10004:2004 (ABNT,2004) <sup>[17]</sup>, classificado assim a CBC como um resíduo "NÃO PERIGOSO". Alguns dos resultados para solubilização, encontraram-se acima do permitido pela NBR 10004:2004 (ABNT,2004) <sup>[17]</sup>, em seu Anexo F, por isto, este resíduo é enquadrado na classe dos não-inertes. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004:2004 (ABNT,2004) <sup>[17]</sup>, a amostra de CBC analisada podem ser classificada,

**Figura 11**

Curva granulométrica – resíduo de pneu

**Tabela 7**

Características granulométricas – resíduo de pneu

Property	Tire residue
Diâmetro máximo	2,4mm
Módulo de finura	4,14
Classificação (NBR 7211/2009)	Areia grossa

pelos parâmetros ora apresentados, como “Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte”. Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Essa condição da CBC, de ser um material não inerte, pode fazer com que o mesmo lançado diretamente no solo possa a vir causar algum tipo de contaminação a longo prazo, lembrando que o lançamento direto em lavouras é o método usualmente empregado para a CBC. Esta informação justifica mais uma vez o emprego da CBC como agregado na fabricação de concretos e pavers, uma vez que o concreto pode levar ao encapsulamento dos materiais contaminantes, mitigando as possíveis contaminações. Para tanto foram realizados também os ensaios de solubilização e lixiviação nos pavers, buscando confirmar a eficiência da neutralização e estabilização dos contaminantes presentes nos resíduos empregados na fabricação das peças.

**3.1.5 Resíduo de pneu inservível**

**3.1.5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA**

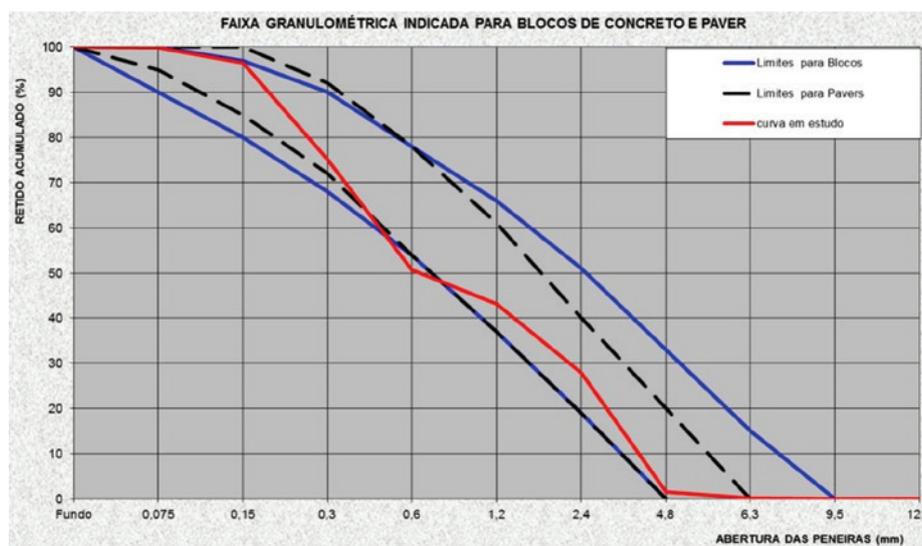
A Análise Granulométrica foi realizada de acordo com o normatizado pela NBR NM 248:2003 (ABNT, 2003)<sup>[6]</sup>. A Figura 11 e a Tabela 7 apresentam, respectivamente, a curva granulométrica e as características granulométricas do resíduo de pneu inservível. O resíduo de pneu apresenta características granulométricas de materiais com granulometria uniforme, como pode ser observado por sua curva granulométrica. A composição granulométrica tem influência direta sobre a trabalhabilidade do concreto (NEVILLE, 1995)<sup>[21]</sup> e no seu adensamento, o que leva a uma maior resistência, uma vez que quanto mais denso o concreto maior sua resistência (FIORITI, 2007)<sup>[22]</sup>.

**3.1.5.2 MASSA UNITÁRIA**

Para a determinação da massa unitária do resíduo de pneu foi executado o ensaio utilizado para agregados com dimensões características inferiores à 37,5 mm, seguindo o procedimento descrito na NBR NM 45:2006 (ABNT, 2006)<sup>[9]</sup>, sendo o resultado igual a 1,67 g/cm<sup>3</sup>.

**3.1.5.3 MASSA ESPECÍFICA**

A Tabela 8 traz os resultados do ensaio para determinação de massa específica, realizado de acordo com a metodologia proposta na NBR 6508:1984 (ABNT, 1984)<sup>[14]</sup>.



**Figura 12**

Curva granulométrica da mistura

**Tabela 8**

Massa específica – resíduo de pneu

Item		Amostra	
		1	2
Capacidade do picnomêtro (ml)	-	22/500	24/500
Amostra úmida (g)	P1	16,43	17,31
Amostra seca (g)	-	16,43	17,31
Picnomêtro + Solo + Água (g)	P2	589,03	582,00
Picnomêtro + Água	P3	610,98	604,57
Massa específica dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	Gs	0,43	0,43
Massa específica dos grãos (médio) (g/cm <sup>3</sup> )	Gs (médio)	0,43	

**Tabela 9**

Dosagem dos pavers em massa

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Pneu (kg)	CBC (kg)	Pedrisco (kg)	A/C	Aditivo ml
T0	18	47,7	0	0	24,3	0,42	40
T1	18	35,78	0	11,93	24,3	0,42	40
T2	18	45,32	0	2,39	24,3	0,42	40
T3	18	45,32	2,39	0	24,3	0,42	40
T4	18	46,98	0,72	0	24,3	0,42	40
T5	18	35,06	0,72	11,93	24,3	0,42	40
T6	18	44,60	0,72	2,39	24,3	0,42	40
T7	18	33,39	2,39	11,93	24,3	0,42	40
T8	18	42,93	2,39	2,39	24,3	0,42	40

O resíduo de pneu apresenta massa específica dos grãos menor que a massa específica do agregado miúdo utilizado na confecção dos pavers o que pode contribuir para um produto mais leve.

#### 3.1.5.4 ENSAIOS DE LIXIVIAÇÃO E SOLUBILIZAÇÃO

Os valores do ensaio do extrato lixiviado se mantiveram dentro dos parâmetros estabelecidos pelo Anexo F da ABNT NBR 10004:2004<sup>[17]</sup>, classificado assim o resíduo de pneu como resíduos "NÃO PERIGOSO". Alguns dos resultados para solubilização, encontrarem-se acima do permitido pela NBR 10004:2004<sup>[17]</sup> em seu Anexo F, por isto, este resíduo é enquadrado na classe dos não-inertes. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004<sup>[17]</sup>, todas as amostras do Resíduo de Pneus Inservíveis analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como "Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte". Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Assim como a CBC, o resíduo de pneu também é um material não-inerte, o que pode acarretar algum tipo de contaminação tanto do solo quanto da água caso seja descartado de forma inadequada no meio ambiente. Para verificar se os contaminantes foram en-

capsulados pelo concreto foram realizados também os ensaios de solubilização e lixiviação nos pavers, buscando confirmar a eficiência da aplicação.

#### 3.1.5.5 DOSAGEM DOS PAVERS

A dosagem adotada foi a estabelecida por Amadei (2011)<sup>[19]</sup> e também utilizada por Altoé (2013)<sup>[6]</sup>. O traço tem uma proporção entre agregado e aglomerante 1:4. De posse das curvas granulométricas dos agregados a dosagem foi ajustada de acordo com a metodologia proposta por Fernandes (2012)<sup>[20]</sup>. A Figura 12 mostra a Curva Granulométrica da Mistura definida de acordo com a metodologia proposta.

A proporção determinada por Amadei (2011)<sup>[19]</sup> se mostrou adequada à fabricação de pavers, de acordo com a curva granulométrica da mistura, estando dentro dos limites da curva ótima determinada por Fernandes (2012)<sup>[20]</sup>. Sendo assim, a proporção definida foi de 55% de agregado miúdo e 45% de agregado graúdo.

Após definida a dosagem foram estabelecidos os teores de substituição, com base nos resultados da pesquisa de Altoé (2013)<sup>[6]</sup>, partindo-se do princípio da máxima utilização dos resíduos propostos. A Tabela 9 traz as dosagens em massa utilizadas para a fabricação dos pavers. Após definidos os traços as peças foram

**Figura 13**

Pavers fabricados com incorporação de resíduos

**Tabela 10**

Massa média das peças

Traço	Peso médio das peças (g)	Varição em relação ao T0 %	
T0	-	-	
T1	25% CBC	3.304,44	0,83
T2	5% CBC	3.312,78	1,08
T3	5% pneu	3.086,67	-5,81
T4	2% pneu	3.240,00	-1,14
T5	25% CBC 2% pneu	3.250,00	-0,83
T6	5% CBC 2 % pneu	3.275,56	-0,05
T7	25% CBC 5% pneu	3.235,56	-1,27
T8	5% CBC 5% pneu	3.242,22	-1,07

Tabela 11

Variação dimensional das peças em relação à tolerância dimensional

Traço	Comprimento		Largura		Espessura	
	Medida (mm)	Varição (mm)	Medida (mm)	Varição (mm)	Medida (mm)	Varição (mm)
Forma	195	-	95	-	80	-
T0	196	1	95	0	79	-1
T1	196	1	95	0	81	1
T2	195	0	95	0	80	0
T3	196	1	95	0	80	0
T4	196	0	96	1	80	0
T6	195	0	95	0	80	0
T7	195	0	95	0	80	0
T8	195	0	95	0	80	0

moldadas na Fábrica de Artefatos de Concreto da Universidade Estadual de Maringá.

### 3.2 Propriedades dos pavers

#### 3.2.1 Inspeção visual

##### 3.2.1.1 COR E ASPECTO VISUAL

O aspecto visual dos pavers é de extrema importância, uma vez que o material desenvolvido deve apresentar características visuais próximas aos pavers comercializados. Segundo o fabricante Maski (2010)<sup>[23]</sup>, o paver deve apresentar arestas bem definidas, bom acabamento de superfície e não possuir rebarbas. Além disso, a cor também é um fator estético importante no momento da definição de qual material será aplicado em uma calçada. Por esse motivo foi realizada uma inspeção com a finalidade de verificar a conformidade das peças e se ocorreu alguma variação de cor nas peças fabricadas com resíduos.

A Figura 13 mostram alguns dos pavers fabricados com os resíduos propostos. Não houve uma variação considerável da cor das peças, uma vez que o resíduo aplicado, apesar de apresentar uma coloração mais escura do que o agregado natural, a quantidade substituída não foi o suficiente para influenciar neste quesito.

##### 3.2.1.2 MASSA DAS PEÇAS

Tabela 12

Resistência à compressão média e característica estimada

Traço	28 dias	
	$f_p$ (MPa)	$f_{pk,est}$ (MPa)
T0	-	33,83
T1	25% CBC	39,19
T2	5% CBC	33,11
T3	5% pneu	23,07
T4	2% pneu	29,00
T5	25% CBC 2% pneu	32,22
T6	5% CBC 2% pneu	29,55
T7	25% CBC 5% pneu	26,17
T8	5% CBC 5% pneu	20,35

As peças foram pesadas e os valores médios encontrados para cada traço encontram-se na Tabela 10.

Os resultados encontrados demonstram que a substituição da CBC resulta em um pequeno aumento da massa das peças. Isto pode ser explicado pela diferença de massa entre os dois resíduos e o agregado natural. Já as peças fabricadas com resíduos de pneus tiveram sua massa reduzida conforme o esperado, mesmo nas peças fabricadas com traços que continham também CBC.

##### 3.2.1.3 DIMENSÕES

A NBR 9781:2013 (ABNT, 2013)<sup>[18]</sup> define que a tolerância dimensional dos pavers deve ser de 3mm para largura, comprimento e espessura. Esta exigência se dá, pois a variação dimensional interfere diretamente no alinhamento e no assentamento das peças. Para a análise deste parâmetro foram realizadas medições em 18 pavers confeccionados por traço, para então ser calculada a média das dimensões. Os resultados constam da Tabela 11, sendo que as dimensões dos pavers fabricados devem ser de (195x95x8) mm., ambos os traços apresentaram dimensões médias dentro das tolerâncias dimensionais.

##### 3.2.1.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Conforme previsto na NBR 9781:2013 (ABNT,2013)<sup>[18]</sup> e seguindo a metodologia descrita no Anexo A, da referida norma, os pavers fabricados com diferentes teores de substituição foram ensaiados à compressão, a fim de determinar a resistência estimada à compressão de cada traço. Os resultados dos ensaios constam na Tabela 12.

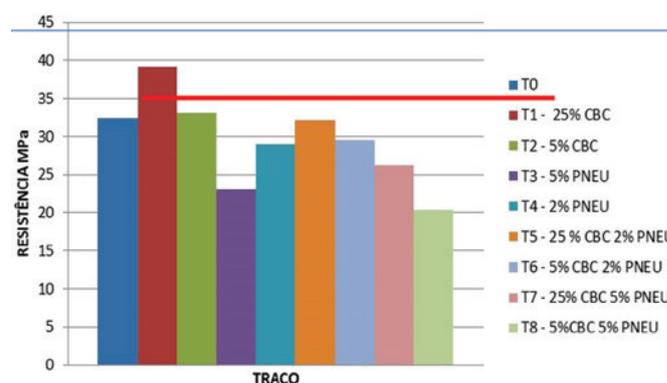
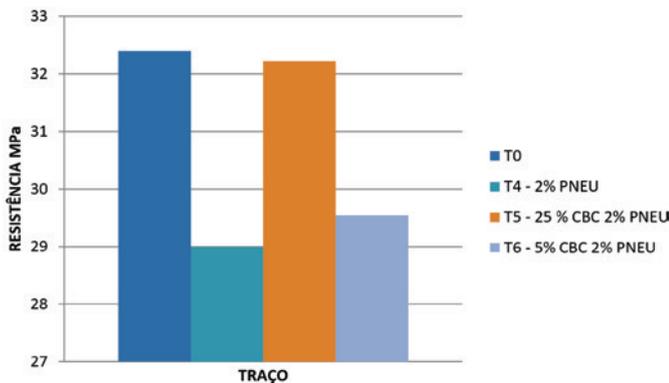
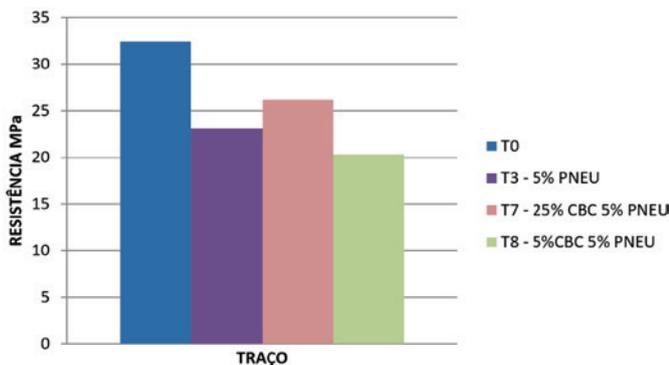


Figura 14  
Resistência à compressão



**Figura 15**  
Resistência à compressão pneu 2%



**Figura 16**  
Resistência à compressão pneu 5%

Para facilitar a análise de dados os resultados foram transferidos para um gráfico, apresentado na Figura 14. O traço que obteve melhor resultado atendendo aos parâmetros de resistência exigidos pela NBR 9781:2013 (ABNT, 2013)<sup>[18]</sup>, foi o T1, fabricado com 25% de substituição de areia por CBC, com valor de 39,19 MPa, alcançando um acréscimo de 15,89% em relação ao traço referência. O traço T2 também confeccionado com CBC em substituição à areia apresentou resultado similar ao traço referência. Esses resultados demonstram a viabilidade da utilização deste resíduo na confecção de pavers, sem que estes tenham comprometimento da resistência à compressão.

Como já foi apontado em diversas pesquisas ocorre uma diminuição da resistência à compressão quando da substituição da areia por resíduo de pneu, para esta pesquisa foram estudados traços com 2% e 5% de substituição, e ambos apresentaram redução em relação ao traço T0, com valores de 23,07 MPa e 29 MPa, para T3 e T4 respectivamente. A substituição de 2% (T4) a perda de resistência não foi tão expressiva quanto na de 5% (T3), ficando na ordem de 14%, as resistências à compressão obtidas são inferiores ao determinado pela NBR 9781:1987 (ABNT, 1987)<sup>[19]</sup>, porém atingiram valores, que segundo diversos pesquisadores, podem ser indicados para a aplicação em locais sujeitos a solicitações leves, uma vez que, segunda pesquisas, uma resistência de 15 MPa já seria o ideal para este tipo de solicitação (FIORITI, 2007)<sup>[22]</sup>.

Os traços confeccionados com os dois resíduos em conjunto mos-

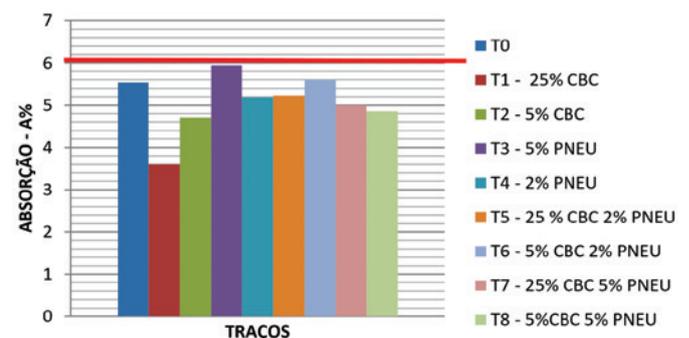
tram que a mistura de CBC com pneu oferece uma melhora nas propriedades mecânicas do paver confeccionado somente com resíduo de pneu. Buscando uma forma de visualizar melhor estes resultados foram confeccionados os gráficos apresentados nas Figuras 15 e 16, onde constam os resultados de 2% e 5% de substituição de areia por Pneu em conjunto com teores de CBC de 5% e 25%.

De acordo com a Figura 15 os pavers onde a areia foi substituída por CBC e Pneu alcançaram resultados de resistência à compressão melhores do que onde foi utilizado somente pneu, com um aumento de 11,10% no T5. Outro fator a ser observado foi que este traço apresentou uma redução de menos de 5% em relação a T0. Neste traço o teor total de substituição é de 27% da areia por resíduo, um alto índice se comparado a outros resíduos quando aplicados com a mesma finalidade. No caso dos pavers fabricados com teores de 5% de resíduo de pneu, esse comportamento se repete para o teor de CBC de 25%. Já com 5% de CBC os resultados não apresentaram melhora, conforme pode ser visto no Figura 16.

Um comportamento que pode ser observado no diz respeito a resistência à compressão é que esta aparentemente não sobre influência quando o teor de substituição é de 5% de substituição, como pode ser visto nos traços T2, T6 e T8, já que estes apresentaram resistência próxima aos sem CBC. Uma maneira de estudar melhor este comportamento pode ser a realização de novos traços com teores intermediários entre 5% e 25%.

**Tabela 13**  
Índice de absorção de água

Traço	Absorção de água (%)
T0	5,54
T1 - 25% CBC	3,60
T2 - 5% CBC	4,71
T3 - 5% PNEU	5,95
T4 - 2% pneu	5,19
T5 - 25% CBC 2% pneu	5,23
T6 - 5% CBC 2% pneu	5,59
T7 - 25% CBC 5% pneu	5,00
T8 - 5% CBC 5% pneu	4,86



**Figura 17**  
Gráfico absorção

De acordo com Fioritti (2007)<sup>[17]</sup> a resistência à compressão de 15 MPa é satisfatória, pois as solicitações de passeios públicos são inferiores a este valor. O autor ainda propõe que os valores exigidos nas normas brasileiras deveriam ser reduzidos considerando a aplicação do material. Neste contexto, todos os traços apresentaram uma resistência próxima ao sugerido pelo autor, podendo ser aplicado em locais com solicitações menores que as vias públicas contempladas na NBR 9781:2013 (ABNT, 2013)<sup>[18]</sup>, como por exemplo, em passeios, praças e ciclovias.

Após a análise dos resultados o traço considerado como teor ótimo de substituição é o traço T5, sendo que nele foram substituídos 27% de areia por resíduos (25% por CBC e 2% por Pneu). Este traço alcançou uma resistência de 32,22 MPa, somente 5% inferior ao traço referência (T0), mostrando-se viável a substituição do agregado pelos resíduos propostos.

### 3.2.1.5 ABSORÇÃO DE ÁGUA

A absorção de água dos pavers foi determinada pela metodologia estabelecida na NBR 9781:2013 (ABNT, 2013)<sup>[18]</sup> e seguindo a metodologia descrita no Anexo B, para a idade de 28 dias. Os resultados obtidos nos ensaios constam da Tabela 13.

Os resultados dos ensaios estão representados graficamente na Figura 17. Em todos os traços confeccionados este índice ficou abaixo do máximo permitido pela NBR 9781:2013 (ABNT, 2013)<sup>[18]</sup> que é de 6%.

A absorção de água para os traços confeccionados com CBC foi menor que o obtido no traço referência. Além do mais, o índice de absorção diminuiu com o aumento do teor de substituição do agregado miúdo por CBC. Este fato pode ser explicado pela baixa porosidade que os pavers fabricados com este resíduo apresentaram. Como a CBC é extremamente fina preenche os vazios entre os outros agregados, diminuindo a porosidade e, conseqüentemente, a absorção de água.

O mesmo não ocorre com os pavers fabricados com resíduos de pneus, o que indica que estas peças possuem uma maior porosidade, apesar de estar dentro dos parâmetros exigidos pela norma. Porém, quando se adiciona CBC à mistura estes índices são reduzidos, o que mostra que a CBC contribui para melhorar também esta característica dos pavers.

### 3.2.1.6 ABRASÃO

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado somente para o traço referência e o traço que apresentou melhor resultado no quesito de propriedade mecânica, o traço T5, sendo utilizado um exemplar para cada traço. De cada exemplar foram retiradas duas amostras, os pavers fabricados com o Traço T0 apresentou um desgaste de 6,29mm e os fabricados com o traço T5 6,37mm.

Os resultados obtidos são relativamente altos quando comparados com resultados de outros ensaios, isto se deve ao fato de que o Método Cientec é tido como o teste mais abrasivo, por utilizar o carvão de silício, que desgasta todo material mineral que compõe o concreto.

Hood (2006)<sup>[24]</sup> sugere que seja utilizado como parâmetro o valor obtido no traço referência para Método Cientec, porém, o autor, sugere que o desgaste seja limitado a 15mm, valor médio atingido por

diversos autores. No caso da NBR 9781:2013 (ABNT, 2013)<sup>[18]</sup> o desgaste máximo admitido é de 23mm para pavers sujeitos ao tráfego de pedestres, de veículos leves e veículos comerciais de linha. O resultado obtido para o traço referência é compatível com os resultados encontrados por outros pesquisadores que utilizaram o Método Cientec para análise de resistência à abrasão. Amadei (2011)<sup>[19]</sup> analisou esta característica em sua pesquisa e obteve um desgaste de 6,40 mm em seu traço referência e Hood (2006) atingiu 6,17 mm.

Quanto ao paver fabricado com CBC e Pneu os resultados apresentados não demonstram que a substituição tenha influenciado esta característica, mostrando mais uma vez a viabilidade da substituição.

## 4. Conclusões

A viabilidade da utilização dos resíduos foi analisada de acordo com ensaios de resistência à compressão, absorção de água e resistência à abrasão, avaliando assim as características mecânicas e de durabilidade das peças.

Como a proposta é a utilização conjunta dos resíduos a análise dos resultados foi focada nas peças confeccionadas com CBC e resíduos de pneus, porém, não pode-se deixar de comentar os resultados obtidos com a utilização isolada dos mesmos. No caso da CBC houve uma melhora significativa das propriedades analisadas, o que já era esperado com base em pesquisas anteriores. Já os resíduos de pneus apresentaram resultados negativos para a fabricação de pavers, mesmo sendo utilizado em pequenas quantidades pode ser observada a redução da resistência mecânica e o aumento da absorção de água. Contudo, quando utilizados em conjunto ocorre uma espécie de efeito compensatório, que viabiliza a utilização dos mesmos.

Com base nos resultados dos ensaios realizados o Traço T05 foi escolhido como o teor ótimo, ou seja, o que apresentou menor influência da substituição do agregado por resíduos nas características analisadas, mesmo utilizando teores máximos de substituição possíveis, 25% de CBC e 2% de pneu, totalizando 27%. O Traço T05 se mostrou o mais próximo do traço referência em termos de resistência, absorção de água e resistência à abrasão.

A melhora das características dos pavers fabricados com resíduo de pneu e CBC pode ser explicada, pelo efeito filler da CBC nos concretos, envolvendo melhor as partículas e reduzindo os vazios entre a pasta e os agregados. Além disto, apesar de não possuir uma reatividade significativa que a classifique como pozolana, a CBC mesmo quando queimada em altas temperaturas contribui de forma determinante para o aumento da resistência mecânica. Cabe ressaltar que, tanto os resultados expostos como as conclusões tiradas a partir destes, têm como referência os materiais, equipamentos, técnicas e condições disponíveis locais.

Do ponto de ambiental a utilização destes resíduos contribui para a redução da extração de recursos naturais e também promove uma destinação adequada dos mesmos.

## 5. Agradecimentos

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

A Universidade Estadual de Maringá, à Prefeitura do Campus, aos

colaboradores da Fábrica de Artefatos de Cimento e do Laboratório de Materiais de Construção.

À Sika Brasil S.A; Usina Santa Terezinha, Borrachas SS.

## 6. Referências bibliográficas

- [1] ROSA, P. A. O. Produção Mais Limpa. Tecnologias Limpas. In: FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 1., 2007, Porto Alegre. Online... Porto Alegre, 2007. Disponível em: [http://www.institutoventuri.com.br/img\\_forum/palestras/Palestras%20-%2019%20de%20maio%2020Manh\\_/Paulo%20Rosa.pdf](http://www.institutoventuri.com.br/img_forum/palestras/Palestras%20-%2019%20de%20maio%2020Manh_/Paulo%20Rosa.pdf). Acesso em: 13 Jun. 2016.
- [2] JOHN, V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.
- [3] 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](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 27 Jun. 2016.
- [4] ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA PNEUMÁTICA - ANIP. O livro Branco da Indústria de Pneus. 2016. Disponível em: <http://www.anip.com.br/index.php?cont=conteudo>. Acesso em: 23 maio. 2016.
- [5] CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de Cana-de-Açúcar 2016/2017 – Segundo Levantamento. 2016. [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_04\\_18\\_14\\_27\\_15\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_1o\\_lev\\_-\\_16.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_16.pdf). Acesso em: 16 Jul. 2016.
- [6] ALTOÉ, S. P. S. Estudo da potencialidade da utilização de cinza de bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de pneus inservíveis na confecção blocos de concreto para pavimentação. 179f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – UEM. Maringá. 2013.
- [7] ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland, 2002. Guia básico de utilização do cimento Portland – BT-106; 7 ed. São Paulo: ABCP, 28 p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- [9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, 2006.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 53. Agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2003.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52. Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15895: Materiais pozolânicos – Determinação do teor de hidróxido de cálcio fixado – Método Chapelle modificado. Rio de Janeiro, 2010.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo - análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Massa específica dos Sólidos. Rio de Janeiro, 1984.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos Rio de Janeiro, 2004.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004 Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781. Peças de concreto para pavimentação- Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013.
- [19] AMADEI, I. B. A. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação produzidos com resíduos de construção e demolição do Município de Juranda/PR. 153 f. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Maringá, 2011.
- [20] FERNANDES, I. D. Blocos & Pavers: Produção e Controle de Qualidade. 3. ed. Jaraguá do Sul: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda., 2012a. 182 p. ISBN 978.85.62290-01-5.
- [21] NEVILLE. A. M. Properties of concrete. 4 edition, London, Longman, 1995, 844p.
- [22] FIORITI, C. F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu como material alternativo. 202 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- [23] MASKI – PRÉ-FABRICADOS. Assentamento do pavimento intertravado Práticas recomendadas. 2011. Disponível em: <http://www.maski.com.br/prefabricados/assentamento-do-pavimento-intertravado>. Acessado em: 12 Jan. 2012.
- [24] HOOD, R. S. S. Análise da viabilidade técnica da utilização de resíduos de construção e demolição como agregado miúdo reciclado na confecção de blocos de concreto para pavimentação. 2006. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- [25] INSTITUTO DE PESQUISA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO – Procedimento IPT123-CT-OBRA-LMCC-Q-PE041 – Revisão 01.