

# Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus

*Evaluation of concrete blocks for interspersed paving with addition of rubber residues from the retreading of tires*

Cesar Fabiano Fioriti  
Akemi Ino  
Jorge Luís Akasaki

## Resumo

A utilização de resíduos tem se mostrado como uma boa alternativa na redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria-prima e pela redução das áreas de disposição, considerando o crescente volume de resíduos descartados a cada ano em todo mundo. Nesse contexto se inserem os resíduos de pneus provenientes da recauchutagem. Este artigo tem como objetivo discutir algumas propriedades dos blocos de concreto para pavimentação intertravada, com substituição parcial dos agregados por resíduos de borracha do processo de recauchutagem de pneus. Os níveis de incorporação dos resíduos de borracha estudados foram de 8%, 10% e 12%, em volume. As propriedades avaliadas foram resistência à compressão, absorção de água e resistência ao impacto. Os resultados mostraram que ocorre queda na resistência à compressão. Na absorção de água, não podemos afirmar que essa propriedade é afetada de maneira negativa. Os blocos demonstraram grande capacidade de absorção de energia (tenacidade). Dessa forma, os resultados indicaram viabilidade na utilização dos blocos com resíduos de borracha em pavimentação intertravada com solicitações leves.

**Palavras-chave:** Blocos de concreto. Resíduos de borracha. Material Alternativo. Proteção do meio ambiente.

## Abstract

*The use of residues seems to be a suitable alternative to reduce the impact of the consumption of natural resources as well as of the reduction of disposal sites, considering the growing volume of discarded waste worldwide. This is the case of the rubber residues generated from the retreading of tires. The objective of this article is to discuss some properties of concrete blocks for interspersed pavement made with partial replacement of the aggregates for tire residues. The levels of incorporation of rubber residues were 8%, 10%, and 12% in volume. The properties investigated were compressive strength, water absorption, and impact resistance. The results have shown a decrease in the compressive strength. Regarding water absorption, it was not possible to conclude that this property is negatively affected. Finally, the blocks had a high capacity for energy absorption (tenacity). Therefore, the results indicate the feasibility of using tire residues for producing concrete interspersed blocks for pavings with light load demands.*

**Keywords:** Concrete blocks. Rubber residues. Alternative material. Environmental protection.

Cesar Fabiano Fioriti  
Departamento de Ciências da  
Engenharia Ambiental  
Universidade de São Paulo  
Rua Gov. Pedro de Toledo, 2309  
Bairro Vila Nova  
Araçatuba -SP - Brasil  
CEP 16025-070  
Tel.: (18) 3608-5927  
E-mail: cffioriti@hotmail.com

Akemi Ino  
Departamento de Arquitetura e  
Urbanismo  
Universidade de São Paulo  
Caixa Postal 359  
São Carlos -SP - Brasil  
CEP  
Tel.: (16) 3373-9291  
E-mail: inoakemi@sc.usp.br

Jorge Luís Akasaki  
Faculdade de Engenharia de Ilha  
Solteira  
Universidade Estadual Paulista  
Alameda Bahia, 550  
Ilha Solteira -SP - Brasil  
Tel.: (18) 3743-1213  
E-mail: akasaki@dec.feis.unesp.br

Recebido em 17/09/06  
Aceito em 20/08/07

## Introdução

Atualmente, a utilização de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo, e a possibilidade de se oferecerem materiais alternativos, cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, contribui para o desenvolvimento desse método prático e confiável.

Esse sistema de pavimentação surgiu na Europa do pós-guerra e foi introduzido no Brasil em meados de 1970. As muitas opções de formato, padrões, cores e matizes, disponíveis para permitir diversas possibilidades estéticas, asseguram ao pavimento intertravado êxito em praças, parques, jardins, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões industriais, estradas, acostamentos, entre outros.

Conforme Piorotti (1985), a vida útil do pavimento intertravado pode ser de até 25 anos, desde que se tenham projetos apropriados para a sub-base, além de blocos de concreto de boa qualidade e que estes estejam muito bem assentados.

Os blocos de concreto para pavimentos intertravados (ilustrados na Figura 1) são maciços e permitem pavimentar uma superfície. O intertravamento é a capacidade que os blocos adquirem para resistir aos movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou de giração em relação a suas peças vizinhas.

Na pavimentação intertravada com blocos de concreto, o procedimento adotado para se executarem reparos em redes subterrâneas de água e de esgoto é muito simples e fácil, pois basta remover os blocos de concreto da área afetada, para que os problemas ou danos sejam corrigidos, seguidos da recolocação dos blocos. Todo esse procedimento é feito sem a necessidade de equipamentos especiais.

Os equipamentos para a produção dos blocos de concreto são denominados vibro-prensas multifuncionais, ou seja, são máquinas produtoras de artefatos de cimento. Essa denominação advém do tipo de mecanismo empregado para fazer com que o material de dosagem penetre e preencha as formas de aço do equipamento. Os benefícios da produção em escala com o uso desses equipamentos são o controle de homogeneidade das resistências mecânicas e da textura e as dimensões que podem ser adotadas durante a fabricação dos produtos.

Analogamente ao desenvolvimento da pavimentação intertravada, a recente discussão do problema ambiental causado pelos resíduos é uma demonstração da necessidade da metodologia de pesquisa e desenvolvimento que inclua os aspectos ambientais, pois a questão ambiental vem sendo amplamente discutida nos âmbitos nacional e internacional, nos últimos anos, tendo mobilizado a opinião pública e assumido um papel preponderante nas comunidades.

Certamente, a discussão da sustentabilidade é resultado de uma longa evolução da percepção de que a ação da espécie humana tem causado transformações não previstas na natureza. Alguns temas como o aquecimento global e o buraco na camada de ozônio, sobre os quais a ciência vem reunindo considerável quantidade de evidências, são exemplos claros dessas conseqüências. Sendo o homem parte da natureza, essas transformações necessariamente afetam a sua qualidade de vida e, talvez, a sobrevivência da sua espécie.

A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matéria-prima. De acordo com Sjöström<sup>1</sup> (1996 *apud* JOHN, 2000), a construção civil consome entre 14% a 50% dos recursos naturais que são extraídos do planeta. Contudo, a utilização de resíduos como matéria-prima na construção civil pode vir a reduzir a quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. Os resíduos poderão se tornar um grande auxiliar na produção de materiais alternativos de menor custo, substituindo em grande parte os agregados naturais empregados em concretos, argamassas, blocos, barreiras de contenção, bases para pavimentação, etc.

De maneira paralela ao desenvolvimento do concreto contendo resíduos, sabe-se que, mundialmente, o número de veículos aumenta todos os anos. Esse aumento gera, entre outras coisas, subprodutos da utilização desses veículos, como, por exemplo, os resíduos de borracha vulcanizada.

Dessa forma, durante o processo de recauchutagem, as bandas de rodagem dos pneus tornam-se resíduos. A recauchutagem de pneus no Brasil atinge, segundo estimativas, 70% da frota de transporte de carga e passageiros, sendo uma fonte que contribui em grande número para o acúmulo desse tipo de resíduo (CEMPRE, 2006).

<sup>1</sup> SJÖSTRÖM, C. Service life of the building. In: Applications of the performance concept in building. **Proceedings...** CIB: Tel Aviv, 1996, v. 2, p. 6-1-6-11.



Fonte: Disponível em: <<http://www.bloco.com.br>>. Acesso em: 15 jul. 2007.

Figura 1 - Blocos de concreto para pavimentação intertravada

De acordo com essas considerações, o uso de resíduos de borracha da recauchutagem de pneus como adição em blocos de concreto para pavimentação intertravada pode apresentar algumas vantagens, tais como: redução do grande volume de um resíduo que causa problemas de saúde e degradação ambiental; otimização do prolongamento da vida útil dos aterros sanitários; redução do consumo das fontes naturais de agregados utilizados na produção de blocos de concreto; e redução da emissão de alguns poluentes na atmosfera, já que a queima desse material libera gases tóxicos.

Tendo em vista essas vantagens levantadas, a proposta deste trabalho pode perfeitamente contribuir para que os resíduos de recauchutagem de pneus deixem de ser um problema ambiental e de saúde pública, e passem a ser mais uma fonte de material alternativo a ser empregado na construção civil.

## Desenvolvimento do trabalho

Primeiramente foram realizadas a análise granulométrica e a determinação das massas específicas dos materiais envolvidos no trabalho (areia, pedrisco e resíduos de borracha).

A seguir foi dada uma ênfase maior aos resíduos de borracha, passando o material por um processo de beneficiamento, ou seja, todo o material utilizado foi separado com o auxílio de agitador de peneiras mecânico, com o qual algumas impurezas

como fios de nylon e fios de aço foram retiradas. Terminada a separação por peneiramento, foi acondicionado todo o material passante na peneira de abertura de malha 1,19 mm em sacos plásticos para posterior utilização. A fração dos resíduos que passaram na peneira de abertura de malha 1,19 mm, utilizados na confecção dos blocos de concreto, representa em média 60% do volume total dos resíduos de pneus. A Figura 2 apresenta uma amostra dos resíduos de borracha após a separação por peneiramento.

Para a realização do trabalho, três diferentes dosagens de concreto com adição de resíduos de borracha e uma sem a adição de resíduos (que serviu como parâmetro de comparação) foram realizadas. A fabricação dos blocos de concreto se realizou em uma máquina vibro-prensa semi-automática pneumática (ilustrada na Figura 3), indicada para a produção em escala industrial compacta.

Foram fabricados blocos de concreto segmentados com 16 faces (Figura 4). A opção por esse modelo se justifica pelo fato de suas características permitirem que os pavimentos intertravados sejam montados em qualquer posição (amarrado, espinha-de-peixe e prumo); além disso, oferecem melhor intertravamento das peças pelo fato de se entrelaçarem entre si nos quatro lados. As dimensões desses modelos são apresentadas na Tabela 1.



Figura 2 - Amostra de resíduos de borracha

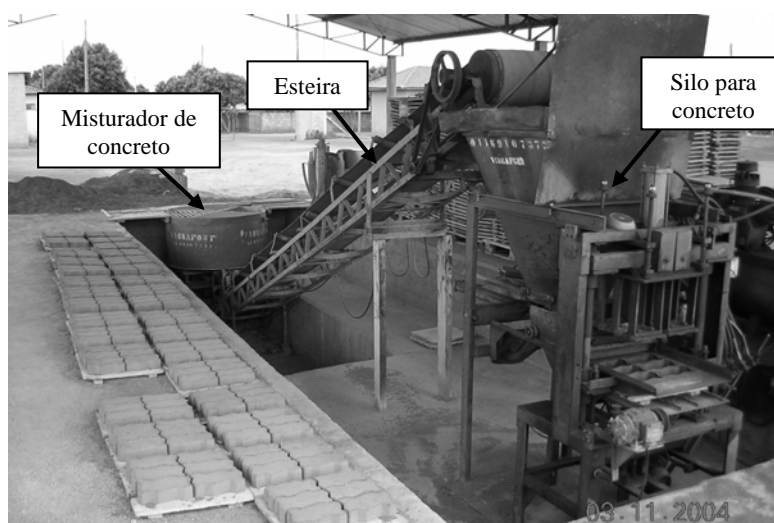


Figura 3 - Moldagem dos blocos de concreto na vibro-prensa semi-automática



Figura 4 - Blocos de concreto segmentados com 16 faces

<b>Piso</b>	<b>Largura (mm)</b>	<b>Compr. (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Número peças/m<sup>2</sup></b>
<b>Bloco</b>	110	220	60	39,50

Tabela 1 - Dimensões dos blocos de concreto

A cura dos blocos de concreto foi realizada em condições ambiente, pelo período de 7 dias, com a manutenção da umidade do estoque de blocos constante por meio de aspersão de água.

Aos 28 dias de idade foi ensaiado um total de 68 blocos de concreto, sendo 17 para cada dosagem de concreto (10 blocos para a realização dos ensaios de resistência à compressão, 6 blocos para ensaios de absorção de água, e 1 bloco para o ensaio de resistência ao impacto). Todo o processo do ensaio para determinação da resistência à compressão foi baseado no método descrito na norma NBR 9780 (ABNT, 1987). Lembra-se que a norma determina que a regularização das faces dos blocos de concreto seja feita com um material que ofereça resistência no mínimo igual à do bloco a ser ensaiado. Entretanto, neste trabalho foi adotado um método de regularização das faces do bloco de concreto já testado pelo Laboratório de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira e pelo Laboratório Central de Engenharia Civil da Companhia Energética de São Paulo, situada em Ilha Solteira. Tal método consistiu em substituir o capeamento tradicional, que é realizado com enxofre ou gesso, por várias chapas de papelão superpostas nas duas faces onde foram aplicados os carregamentos. A Figura 5 ilustra o bloco de concreto na prensa para ensaios, onde pode ser observada a presença dos pratos de aço usados como apoio, e também a utilização das folhas de papelão que serviram como capeamento dos blocos.

O ensaio para a determinação da absorção de água seguiu as prescrições da norma NBR 12118 (ABNT, 2006), que foi utilizada pelo fato de não existir norma específica no país referente ao ensaio de absorção de água em blocos de concreto para pavimentação.

O ensaio de resistência ao impacto teve por finalidade estabelecer um parâmetro para avaliar a resistência dos blocos de concreto produzidos, cuja determinação, ao que tudo indica, pode ser um fator importante na especificação dos blocos com relação à sua aplicação. Devido à não-existência de norma específica para a avaliação do ensaio de resistência ao impacto em blocos de concreto para pavimentação intertravada, utilizou-se a norma NBR 13818 (ABNT, 1997), além do auxílio do aparato visualizado na Figura 6.

O aparato utilizado é composto de um tubo-guia que possui perfurações transversais ao longo do seu eixo distanciadas de 10 cm, pelas quais, mediante a introdução ou retirada de um pino metálico, se determina a altura e restringe-se ou induz-se a queda livre de uma esfera metálica de 0,5 kg. A esfera metálica é ligada a uma corda, a qual se apóia a uma roldana, o que possibilita que a esfera possa ser suspensa.

O procedimento empregado no ensaio da resistência ao impacto é descrito na seqüência:

(a) primeiramente foram feitos o nivelamento e a contenção do bloco de concreto na caixa de areia colocada abaixo do tubo-guia (Figura 7);

(b) a aplicação de carregamentos de impacto com a primeira queda da esfera metálica iniciou-se à altura de 0,20 m da superfície do bloco de concreto, sendo as demais incrementadas sempre por 0,10 m, até a altura-limite de 2,20 m; e

(c) ao longo dessas repetições observou-se na superfície do bloco de concreto, com o auxílio de uma lupa, o surgimento da primeira fissura. Na seqüência foi dado prosseguimento ao ensaio, o qual foi interrompido apenas após a observação da primeira fissura/1 mm de espessura, juntamente com a determinação do seu somatório de energia total necessário, originando assim o final do ensaio.

A observação de fissuras foi limitada à face superior do bloco de concreto, pois, considerando a forma e o peso dos blocos, todas as diferentes maneiras de retirá-los e de reassentá-los, manualmente após cada impacto, seriam baseadas no apoio em dois pontos extremos do mesmo, o que causaria involuntariamente certa flexão, a qual poderia induzir à fissuração, descartando-se ainda questões ligadas a variações quanto a locação, nivelamento, apoio, etc. Ressaltado-se ainda que a contenção do bloco, propiciada pela areia, foi suficiente para que durante todo o ensaio não ocorresse o seu deslocamento.

## Resultados, análise e discussão

A seguir, são apresentados os resultados de ensaios realizados, com as respectivas discussões e análises para cada propriedade avaliada.

A Tabela 2 fornece os resultados dos ensaios de granulometria e de massa específica dos materiais.

Nas Tabelas 3, 4, 5 e 6, podem ser observadas as quantidades de materiais utilizados em cada dosagem experimental, além das médias aritméticas dos resultados obtidos com os blocos de concreto nos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

A Figura 8 apresenta o gráfico comparativo entre a resistência à compressão dos blocos de concreto e o consumo de cimento utilizado. Na Figura 9 é apresentado o gráfico comparativo entre a absorção de água dos blocos de concreto e o consumo de cimento.

Por fim, na Tabela 7 são apresentados os resultados provenientes dos ensaios de resistência ao impacto nos blocos de concreto.

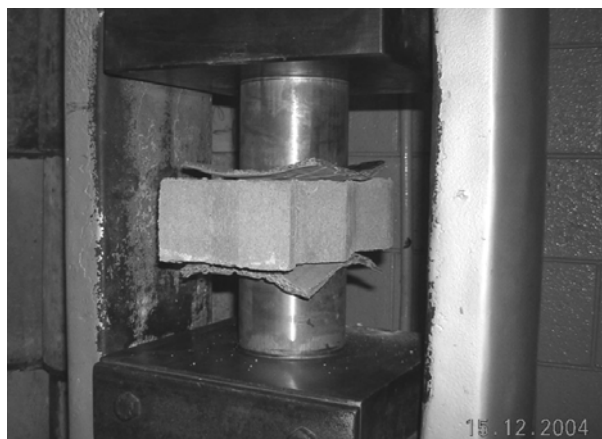


Figura 5 - Bloco de concreto na prensa para ensaios

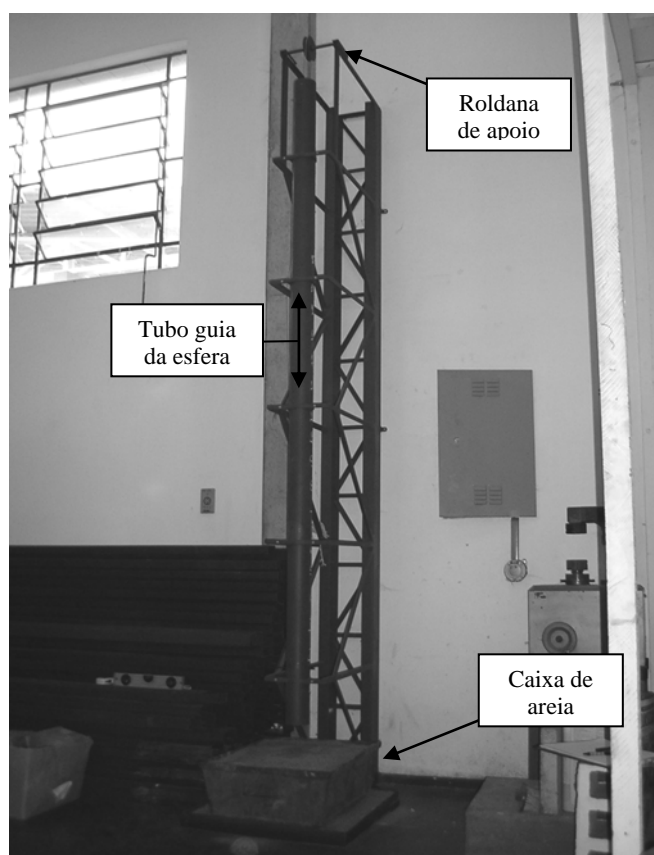


Figura 6 - Aparato para ensaio de resistência ao impacto



Figura 7 - Detalhe do ajuste do bloco de concreto na caixa de areia

Material	Diâmetro Máximo (mm)	Módulo de Finura	Massa Específica Absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Resíduos	4,760	327	1,090	0,348
Areia	2,340	238	2,620	1,518
Pedrisco	6,300	483	2,728	1,352

Tabela 2 - Granulometria e massa específica dos materiais

Dosagem dos Materiais em Volume				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
17,18	49,48	25,08	0,00	8,59
Resultados dos Ensaio				
Resistência à Compressão (MPa)		Absorção de Água (%)		
28,40		3,38		

Tabela 3 - Dosagem experimental "A": resultados dos ensaios

Dosagem dos Materiais em Volume				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
16,39	42,25	25,95	8,00	7,41
Resultados dos Ensaio				
Resistência à Compressão (MPa)		Absorção de Água (%)		
23,25		3,89		

Tabela 4 - Dosagem experimental "B": resultados dos ensaios

Dosagem dos Materiais em Volume				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
16,39	44,27	21,93	10,00	7,41
Resultados dos Ensaio				
Resistência à Compressão (MPa)		Absorção de Água (%)		
22,02		3,09		

Tabela 5 - Dosagem experimental "C": resultados dos ensaios

Dosagem dos Materiais em Volume				
Cimento %	Areia %	Pedrisco %	Resíduos %	Água %
16,08	43,34	21,31	12,00	7,27
Resultados dos Ensaio				
Resistência à Compressão (MPa)		Absorção de Água (%)		
19,15		3,96		

Tabela 6 - Dosagem experimental "D": resultados dos ensaios

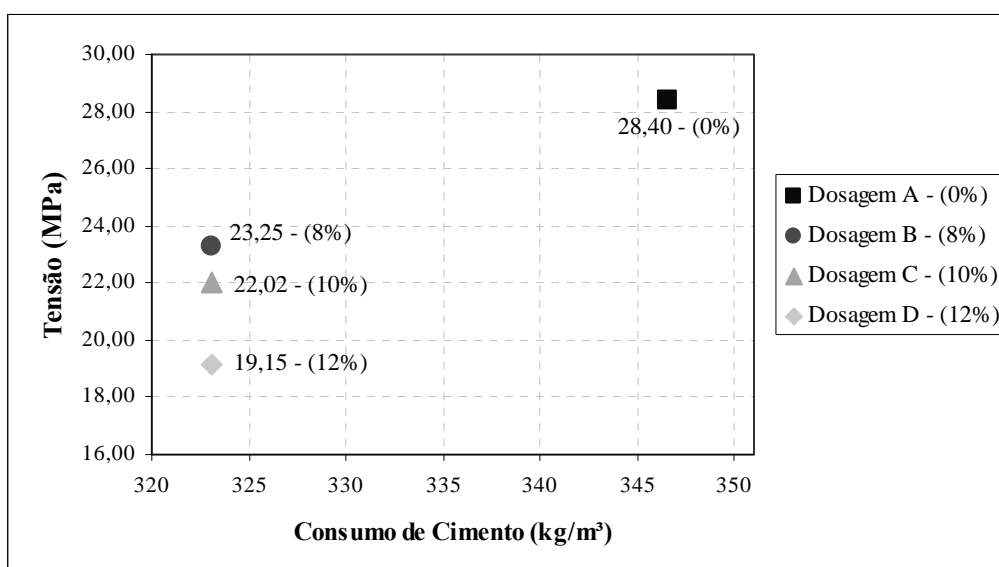


Figura 8 - Gráfico comparativo entre resistência à compressão e consumo de cimento



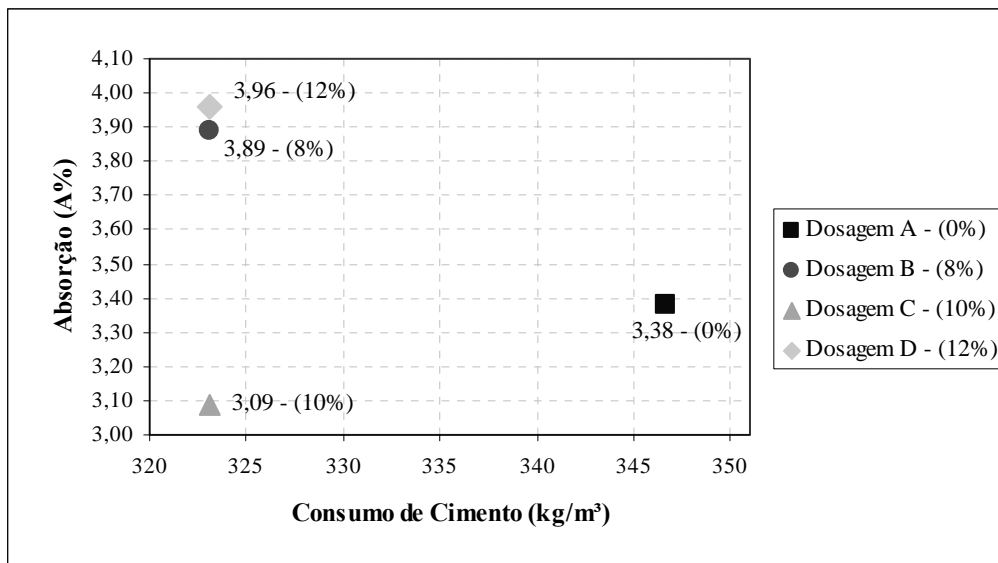


Figura 9 - Gráfico comparativo entre absorção de água e consumo de cimento

	Primeira Fissura Observada				Última Fissura Observada			
	Nº Impactos	Altura de Queda (m)	Resistência ao Impacto (J)	Esp. (mm)	Nº Impactos	Altura de Queda (m)	Σ Energia (J)	Esp. (mm)
A-0%	7	0,80	17,15	0,10	9	1,00	26,47	2,00
B-8%	13	1,40	51,01	0,10	16	1,70	74,56	1,00
C-10%	10	1,10	31,87	0,10	15	1,60	66,22	1,00
D-12%	10	1,10	31,87	0,10	14	1,50	58,37	1,00

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de resistência ao impacto

Comparando-se os resultados das Tabelas 3, 4, 5 e 6, observa-se que a variação na quantidade de areia, pedrisco e cimento altera substancialmente os resultados de resistência à compressão e absorção de água.

A resistência à compressão do concreto é uma das propriedades mais importantes quando se avalia o desempenho de uma estrutura. A resistência está ligada à capacidade dos materiais de resistir a tensões sem que haja ruptura. No estudo da resistência do concreto com resíduos de borracha, geralmente o uso desses resíduos com massa específica menor que a dos agregados naturais faz com que essa propriedade seja influenciada de forma negativa.

Através da avaliação dos resultados da Figura 8, observa-se que o aumento dos percentuais de

resíduos no concreto dos blocos teve como consequência reduções na resistência das peças, se comparado com o valor da dosagem “A” (sem resíduos). Entretanto, é importante considerar a influência da forma, da textura e da granulometria dos agregados sobre a resistência à compressão dos blocos produzidos.

A ruptura dos blocos com resíduos de borracha é comparável à ruptura dos blocos sem resíduos, os quais, apesar de terem menores capacidades de resistência à compressão, não apresentam ruptura frágil como os blocos sem resíduos. Em especial, cita-se o contraste entre os blocos sem resíduos que praticamente se fragmentaram em vários pedaços e os blocos com resíduos que preservaram em parte seu formato original. Esse comportamento indica maior capacidade de

absorção de energia por parte das dosagens de concreto com resíduos de borracha.

No caso do uso dos percentuais 8%, 10% e 12% de resíduos de borracha, esses teores apresentaram resistências à compressão no intervalo de 19 MPa a 23 MPa, com consumo de cimento de 323 kg/m<sup>3</sup>, em que não foi possível atingir a resistência mínima à compressão de 35 MPa estabelecida pela NBR 9780 (ABNT, 1987) para ambientes com solicitações de veículos comerciais de linha.

Um dos principais ensaios referenciados na maioria das normas internacionais para avaliar o desempenho dos blocos de concreto para pavimentação intertravada é o de resistência mecânica à compressão. A norma NBR 9781 (ABNT, 1987), por exemplo, tem a resistência à compressão como único parâmetro de desempenho mecânico dos blocos, admitindo que todas as outras características estão diretamente relacionadas com essa capacidade estrutural de receber esforços de compressão.

Algumas discussões sobre a resistência mecânica dos blocos de concreto apontam para uma falta de consenso sobre o melhor método de ensaio para resistência e para a influência do estado de umidade das amostras no momento de realização do ensaio nos resultados. Além disso, os valores mínimos exigidos pela NBR 9781 (ABNT, 1987) para o ensaio de resistência à compressão fazem com que os blocos tenham que suportar resistências muito elevadas. Esquece-se que esse tipo de pavimento também pode ser e é utilizado em ambientes com sobrecargas pequenas, como, por exemplo, em calçadas, praças e ciclovias.

Todavia, se compararmos os valores mínimos de resistência à compressão exigidos no Brasil com os de alguns outros países, como, por exemplo, Austrália e África do Sul, que dispõem de normas que especificam resistências mínimas de 25 MPa, dependendo da finalidade de utilização do produto, que dominam essa técnica de fabricação e que vêm utilizando a pavimentação intertravada com blocos intertravados há muito mais tempo que o Brasil, veremos então que as resistências exigidas em nosso país são realmente elevadas.

Sob outro ponto de vista, analisando-se a capacidade de carga que um bloco de concreto deve suportar para conseguir a resistência mínima de 25 MPa, como no caso das normas da Austrália e da África do Sul, esses valores são ainda muito elevados. Para se atingir uma resistência à compressão de 25 MPa, o bloco deve suportar aproximadamente 157.500 N, contra, por exemplo, aproximadamente 94.500 N para conseguir estabelecer uma resistência à compressão de 15 MPa. Foi comparada como exemplo a resistência

de 15 MPa, já que esta resistência mecânica, ao que tudo indica, em termos de solicitações baixas, é suficiente para suportar a sobrecarga que será exercida em calçadas, praças e locais com trânsito leve.

Chega-se à conclusão de que os valores exigidos na norma brasileira, de 35 MPa e 50 MPa, poderiam ser revistos, já que, por enquanto, esse é o único quesito em relação a ensaio exigido para se fazer uso dos blocos de concreto para pavimentação no Brasil.

Esses valores de resistência exigidos na norma brasileira poderiam ser reduzidos levando-se em conta a aplicação do material. Isso se tornaria interessante também pelo aspecto ambiental, pois com certeza estaríamos contribuindo com a redução do alto consumo de cimento que é feito atualmente, sem falar na possível redução do custo do material.

Assim, mais situações de aplicações de blocos de concreto para pavimentação, tanto para pequenas sobrecargas quanto para as que envolvam sobrecargas elevadas, deveriam ser incorporadas na norma brasileira.

Outras normas que viessem a servir como parâmetro na determinação da resistência e da durabilidade dos blocos de concreto também seriam de grande valia, deixando de se limitar exclusivamente ao ensaio de resistência à compressão. A elaboração de ensaios para a determinação de outras propriedades, como, por exemplo, desgaste por abrasão, absorção de água, resistência à tração, resistência ao impacto, entre outros, é uma das necessidades já constatadas.

Com relação a percentuais máximos admitidos no ensaio de absorção de água, o valor típico de controle utilizado pelas normas internacionais de blocos para pavimentos é de 6% de absorção. Com relação à norma NBR 12118 (ABNT, 2006), seu limite máximo de absorção é de 10%.

Na Figura 9 observa-se que, embora a dosagem “C” (10% de resíduos) tenha estabelecido absorção de água ligeiramente menor quando comparada às dosagens “B” (8% de resíduos) e “D” (12% de resíduos), não há diferença significativa entre elas.

Foi observado que o uso de resíduos de borracha não altera de forma significativa a propriedade de absorção de água no concreto, com base em que praticamente todas as dosagens de blocos com resíduos que obtiveram as maiores resistências mecânicas também foram as que apresentaram absorção mais baixa.

De acordo com os dados da Tabela 7, verifica-se que foi necessário menor número de impactos e,

conseqüentemente, menor energia para a observação da primeira fissura dos blocos de concreto sem resíduos, em relação às fissuras iniciais dos blocos com adição de resíduos de borracha.

De maneira geral, os blocos de concreto contendo resíduos de borracha suportaram maior absorção de energia antes do seccionamento, se comparados com os blocos sem resíduos, e, ao que tudo indica, possuem bom potencial para aplicação em ambientes que exijam baixa resistência mecânica, como, por exemplo, calçadas e praças.

## Conclusões

É possível afirmar que é necessário ampliar ainda mais o conhecimento sobre o comportamento de resíduos de borracha de pneus incorporados na produção de novos concretos. Com o intuito de ampliar o conhecimento nesse sentido, este trabalho avaliou o comportamento de blocos de concreto para pavimentação intertravada fabricados com diferentes teores de incorporação de resíduos de borracha.

Os ensaios de resistência à compressão nos blocos de concreto com incorporação de resíduos de borracha apresentaram valores mais baixos em comparação com os blocos sem resíduos. Porém, nenhuma das dosagens de blocos atingiu o valor mínimo de 35 MPa prescrito na NBR 9781 (ABNT, 1997) para solicitações leves.

Os blocos de concreto com adição de resíduos de borracha apresentaram índices de absorção de água por imersão abaixo do limite típico estipulado pelas normas internacionais para blocos de concreto para pavimentação intertravada, que é de 6%. Ainda assim, todas as dosagens de blocos tiveram absorção menor que o limite máximo de 10% prescrito na NBR 12118 (ABNT, 2006), que se refere aos blocos de concreto para alvenaria. Na dosagem “C” (10% de resíduos), os resultados da absorção dos blocos foram menores que os blocos da dosagem “A” (sem resíduos), indicando que não podemos afirmar uma piora dessa propriedade, mas confirmar controvérsias das literaturas, em que alguns pesquisadores afirmam que essa propriedade não é influenciada e outros afirmam que ocorre maior absorção em função da incorporação dos resíduos de borracha.

Nos ensaios de resistência ao impacto, o comportamento de ruptura dos blocos de concreto com adição de resíduos de borracha foi diferente do bloco sem resíduos, e foram observadas significativas alterações que demonstraram a efetiva participação física dos resíduos de borracha na contenção do seccionamento dos blocos. Porém,

não foi possível quantificar tal contribuição, embora seja visível o aumento da capacidade de absorção de energia (tenacidade) dos blocos com adição dos resíduos de borracha.

Os resultados obtidos no trabalho indicam que o uso de blocos de concreto com resíduos de borracha na pavimentação intertravada pode ser feito em ambientes com solicitações leves, como, por exemplo, em calçadas, praças, ciclovias e condomínios residenciais.

Embora seja possível a fabricação de blocos de concreto com resíduos de borracha que apresentem resistências superiores às encontradas neste trabalho, utilizando um método de dosagem padronizado, aliado a um maior consumo de cimento, mesmo com o auxílio de equipamentos com alto poder de energia de compactação e vibração, considera-se que as resistências à compressão de 19 MPa a 23 MPa obtidas com os percentuais de 8% a 12% de resíduos de borracha, com consumo de cimento na faixa de 323 kg/m<sup>3</sup>, apesar de serem menores que o limite mínimo de 35 MPa (para solicitações leves) prescrito na NBR 9781 (ABNT, 1987), possuem resistência suficiente para que os blocos sejam utilizados na pavimentação intertravada de baixa intensidade de sobrecarga.

Com relação ao meio ambiente, utilizando-se o percentual sugerido de 8% a 12% de resíduos de borracha, em volume, ocorrerá uma contribuição positiva na redução desses resíduos de recauchutagem, que são gerados em grande proporção atualmente.

## Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9780**: Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

BIGNOZZI, M. C.; SANDROLINI, F. Recycling tire rubber in building materials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT AND RECYCLING: CHALLENGES AND

OPPORTUNITIES, 2004, Inglaterra.  
**Proceedings...** Inglaterra: Kingston, 2004.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Fichas técnicas**. In: PNEUS, 2006. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em: 24 abr. 2007.

CRUZ, L. O. M. **Pavimento intertravado de concreto**: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 2003. 281 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria**. 2002. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. 2000. 102 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PIOROTTI, J. L. **Pavimentação intertravada**. Rio de Janeiro: Montana, 1985. 64 p.

SIDDIQUE, R.; NAIK, T. R. Properties of concrete containing scrap-tire rubber: an overview. **Waste Management**, p. 1-7, 2004.

SMITH, D. R. Recent skid resistance evaluations of concrete block paving in North América. In: INTERNATIONAL CONCRETE BLOCK PAVING CONFERENCE, 6, 2000, Tokyo, Japan, september. **Anais...** Tokyo, Japan, 2000. p. 473-482.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, J. L. Mechanical characterisation of cement based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. **Building and Environment**, p. 1-6, 2004.