



**ENTAC2006**

**A CONSTRUÇÃO DO FUTURO** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **FABRICAÇÃO DE PAVIMENTOS INTERTRAVADOS DE CONCRETO UTILIZANDO RESÍDUOS DE RECAUCHUTAGEM DE PNEUS**

**FIORITI, César Fabiano <sup>(1)</sup>; AKASAKI, Jorge Luis <sup>(2)</sup>; INO, Akemi <sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Doutorando em Ciências da Engenharia Ambiental; *e-mail:* [cffioriti@hotmail.com](mailto:cffioriti@hotmail.com)

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP

<sup>(2)</sup> Professor Doutor, Departamento de Engenharia Civil; *e-mail:* [akasaki@dec.feis.unesp.br](mailto:akasaki@dec.feis.unesp.br)

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – UNESP

<sup>(3)</sup> Professora Doutora, Departamento de Arquitetura e Urbanismo; *e-mail:* [inoakemi@sc.usp.br](mailto:inoakemi@sc.usp.br)

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP

### **RESUMO**

A recauchutagem de pneus no Brasil é responsável pela geração de grandes quantidades de resíduos de borracha, cuja capacidade de degradação é muito lenta, fato este que contribui na geração de impactos ambientais. A utilização destes resíduos de borracha na produção de pavimentos intertravados de concreto pode apresentar-se como uma alternativa interessante, visando contribuir na disposição final desses resíduos potencialmente poluidores. Neste trabalho serão apresentados resultados experimentais de dosagens de concreto com adição de resíduos de pneus, que passaram na peneira com abertura de malha igual a 1,19 mm da ABNT. Nas peças produzidas de concreto, foram realizados ensaios para determinação da resistência à compressão simples e a capacidade de absorção de água. Dessa forma, espera-se que os resíduos da recauchutagem de pneus possam vir a se tornar uma alternativa viável na composição de materiais e componentes utilizáveis no setor da construção civil.

**PALAVRAS CHAVE:** Pavimentos Intertravados, Concreto, Resíduos de Pneus, Resistência à Compressão, Absorção de Água, Material Alternativo.

### **1. INTRODUÇÃO**

Atualmente a utilização de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto vem crescendo em todo o mundo, particularmente no Brasil, e a possibilidade de se oferecer materiais alternativos cuja principal preocupação é o equilíbrio entre os aspectos ambientais, tecnológicos e econômicos, contribuem para o desenvolvimento deste método prático e confiável.

Este sistema de pavimentação surgiu na Europa do pós-guerra e foi introduzido no Brasil na década de 1970. A inexistência de limites quanto à capacidade de suporte do pavimento, aliada às muitas opções de formato, padrões, cores e matizes disponíveis para permitir infindáveis possibilidades estéticas, assegura à pavimentação êxito absoluto em: praças, parques, jardins, calçadas, estacionamentos, vias urbanas, pátios, depósitos, galpões industriais, estradas, acostamentos, entre outros.

Conforme Piorotti (1985), a vida útil deste tipo de pavimentação é bastante elevada, considerando projetos apropriados para sub-base, blocos de boa qualidade e bem assentados, pode-se ter uma pavimentação com vida útil de pelo menos 25 anos.

Os blocos para pavimentos, também são chamados de “pavers” (nome que doravante será adotado neste trabalho) ou pavimentos intertravados de concreto, ilustrados na Figura 1, apresentam deformação vertical bem inferior, se comparada com pavimentos flexíveis (pavimentos asfálticos) de mesma espessura.



Figura 1 – Pavers de concreto para pavimentação intertravada.  
(<http://www.bloco.com.br/produtos.html>)

Os pavimentos intertravados são construídos com blocos pré-fabricados de concreto, maciços, que permitem pavimentar uma superfície completa. O intertravamento é a capacidade que as peças adquirem de resistirem a movimentos de deslocamento individual, seja ele vertical, horizontal, de rotação ou de giração em relação a suas vizinhas.

Nos pavimentos com pavers, o procedimento adotado para se executar reparos em redes subterrâneas de água e de esgoto é muito simples e fácil, pois basta remover as peças da área afetada, para que os problemas ou danos sejam corrigidos, seguidos da recolocação das peças. Todo este procedimento é feito sem a necessidade de equipamentos especiais.

As máquinas produtoras de pavers são chamadas de vibro-prensas. Isto devido ao tipo de mecanismo que é empregado para se fazer com que o material de dosagem penetre e preencha as fôrmas acopladas nas vibro-prensas.

De acordo com Holanda (2000), o mecanismo de vibração das vibro-prensas é um dos principais responsáveis pela qualidade dos componentes que são moldados. Esta vibração governa as operações de moldagem e colabora diretamente para a prensagem dos pavers. De modo geral, a melhor vibração é aquela que permite obter, num tempo mínimo, pavers de qualidade homogênea em todos os pontos da fôrma, provocando assim uma ótima compactação. Os seguintes parâmetros caracterizam a vibração: direção, fôrma, frequência, amplitude, velocidade, aceleração e duração.

Com relação ao paradigma ecológico atual, hoje em dia a natureza é vista como tendo grande valor e estabelecem-se limites para a poluição gerada no processo de produção. A preservação ambiental é vista, principalmente, como a proteção do meio ambiente (flora e fauna) natural. O desenvolvimento ainda é visto em grande medida como algo contraditório à preservação ambiental (Liddle, 1994).

A indústria da construção civil, segundo estimativas, é responsável por 15 a 50% do consumo dos recursos naturais 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 auxiliador na produção de materiais alternativos de menor custo, substituindo em grande parte os agregados naturais empregados em concretos, argamassas, blocos, pavers, 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.

Contudo, devido ao processo de recauchutagem, as bandas de rodagem dos pneus tornam-se resíduos. Assim, conclui-se que a recauchutagem de pneus, que no Brasil atinge segundo estimativas, 70% da frota de transporte de carga de passageiros, é uma fonte que contribui em grande número para o acúmulo desse tipo de resíduo.

Frente a isso, com a introdução dos resíduos de borracha na composição do concreto dos pavers, será avaliado o comportamento das peças de concreto com relação aos ensaios de resistência à compressão simples e capacidade de absorção de água. Dessa forma, espera-se que os resíduos da recauchutagem possam vir a se tornar uma alternativa na composição de materiais e componentes da construção civil.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

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

A seguir foi dada uma ênfase maior aos resíduos de borracha, passando o material por um processo de seleção e classificação por peneiramento, onde algumas impurezas como fios de nylon e fios de aço foram retirados desse resíduo. Com a separação dos resíduos de borracha, se definiu a fração utilizável. A fração escolhida foram os resíduos que passaram na peneira número 16 da ABNT, de abertura de malha igual a 1,19 mm, que representam em média 60% do volume total do material. Todo esse processo resultou numa nova fração de material mais uniforme, com predominância de resíduos no tamanho máximo de 3 mm (Figura 2).



Figura 2 – Resíduos de borracha depois de passados na peneira número 16.

Foram fabricados pavers segmentados ou retangulares com relação comprimento/largura igual a dois (com 16 faces), cujas características permitem que os pavimentos sejam montados em qualquer posição, além de oferecer um melhor entrelaçamento das peças pelo fato de entrelaçarem entre si nos quatro lados (ver Figura 3). As dimensões destes modelos são apresentadas na Tabela 1.



Figura 3 – Pavers de concreto sobre os paletes de madeira.

Tabela 1 – Dimensões dos pavers.

PISO	LARGURA (mm)	COMPR. (mm)	ALTURA (mm)	NÚMERO peças/m <sup>2</sup>
PAVER	110	220	60	39,50

Para a realização do trabalho, 3 diferentes dosagens de concreto acrescidas de resíduos de borracha, e uma sem a adição de resíduos (que serviu como parâmetro de comparação) foram executadas. A fabricação dos pavers se realizou em uma máquina vibro-prensa semi-automática pneumática (ilustrada na Figura 4), indicada para a produção em escala industrial compacta, moldados na empresa Eletra Indústria e Comércio de Blocos, situada no município de Monte Aprazível, região de São José do Rio Preto-SP.



Figura 4 – Moldagem dos blocos na vibro-prensa semi-automática.



O método de cura empregado foi à cura natural, que se realizou no pátio da fábrica de pré-moldados, pelo período de 7 dias. O ciclo de cura natural consistiu na cura em condições ambiente, com a manutenção da umidade do estoque de pavers constante por meio de aspersão de água.

Aos 28 dias de idade foram ensaiados um total de 64 pavers, sendo 16 para cada dosagem de concreto (10 pavers para a realização dos ensaios de resistência à compressão e 6 para ensaios de absorção de água). Todo o processo do ensaio para determinação da resistência à compressão foi baseado no método descrito na norma NBR – 9780 (Peças de concreto para pavimentação – Determinação da resistência à compressão) da ABNT. Lembrando que a norma determina que a regularização das faces dos pavers, seja feita com um material que ofereça resistência no mínimo igual ao do paver a ser ensaiado. Entretanto, neste trabalho foi adotado um método de regularização das faces dos pavers, 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, com a apresentação de resultados bastante satisfatórios. 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 paver na prensa universal 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 pavers.



Figura 5 – Paver na prensa universal para ensaios.

Com relação ao ensaio para determinação da absorção de água, este seguiu as prescrições da norma NBR – 12118 (Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida) da ABNT.

### **3. RESULTADOS OBTIDOS**

Os resultados obtidos nos ensaios realizados com os pavers serão apresentados conforme descritos anteriormente.

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

Nas Tabelas de número 3 a 6, podem ser observados as quantidades de materiais utilizados em cada dosagem experimental, além das médias aritméticas dos resultados obtidos com os pavers nos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

As Figuras 6 e 7 apresentam graficamente os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e absorção de água.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de granulometria e massa específica dos materiais.

<b>Material</b>	<b>Diâmetro Máximo (mm)</b>	<b>Módulo de Finura</b>	<b>Massa Específica Absoluta (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa Específica Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
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 3 – Dosagem experimental “A” – Resultados dos ensaios.

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

Tabela 4 – Dosagem experimental “B” – Resultados dos ensaios.

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

Tabela 5 – Dosagem experimental “C” – Resultados dos ensaios.

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

Tabela 6 – Dosagem experimental “D” – Resultados dos ensaios.

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

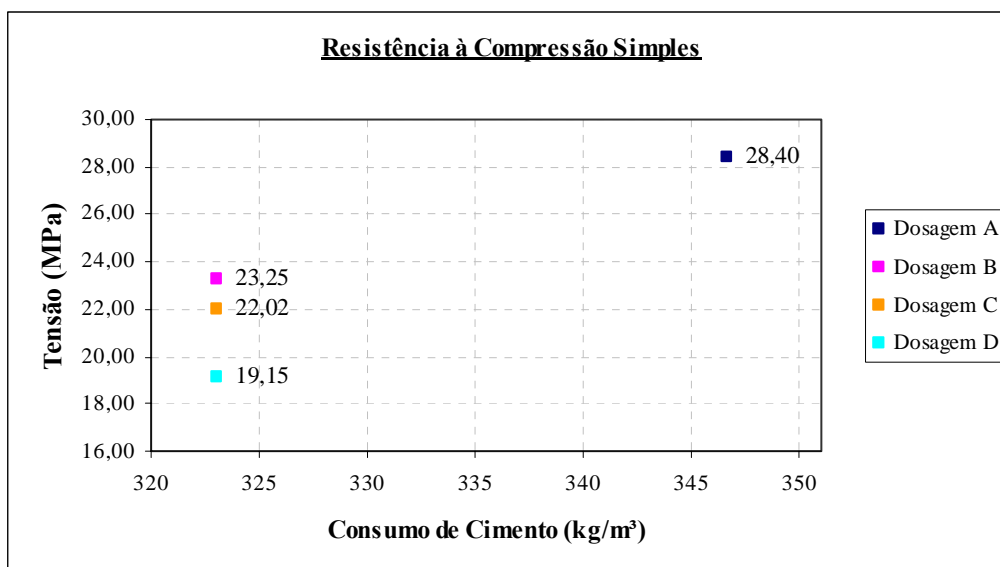


Figura 6 – Ensaio de resistência à compressão simples.

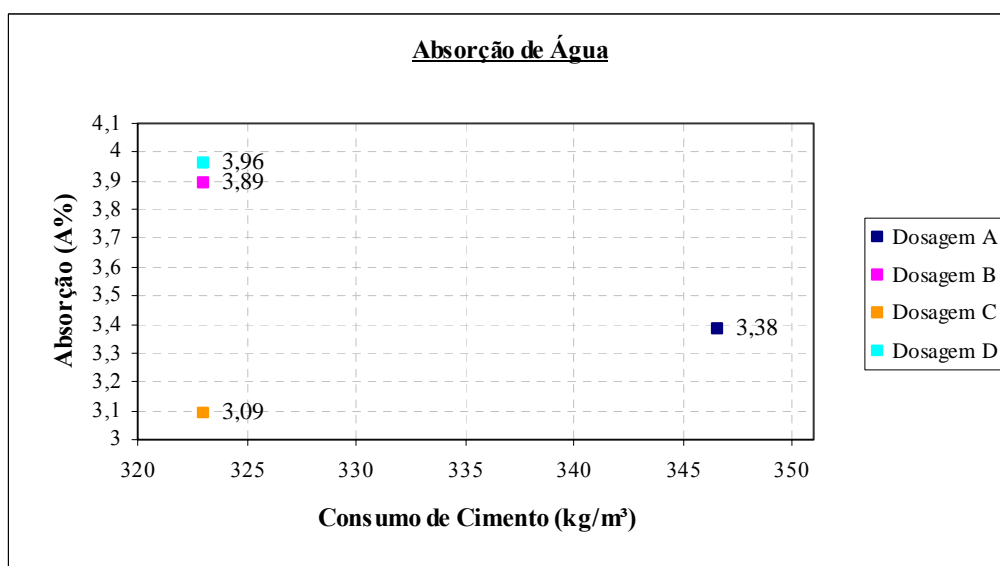


Figura 7 – Ensaio de absorção de água.

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

Com relação à variação das quantidades de pedrisco e areia nas composições do concreto, podemos dizer que pequenas variações na fabricação dos pavers podem comprometer a dosagem, no que diz respeito à resistência mecânica final das peças produzidas. A variação encontrada nos resultados dos ensaios de absorção de água pode ter sido ocasionada pela homogeneização dos materiais envolvidos, ou seja, aglomerante + agregados + resíduos não obtive as quantidades necessárias para que o compósito final apresentasse o menor número de vazios possível, deixando assim de proporcionar a chamada compactação ótima do concreto dos pavers. Pois, pelo princípio normal, à medida que a

quantidade de resíduos adicionada nas dosagens fosse aumentada, esperava-se que a absorção de água aumentasse gradativamente, o que não aconteceu conforme se observa nos resultados apresentados na Figura 7.

Analisando as Tabelas 4, 5 e 6 verifica-se que o aumento da quantidade de resíduo de 8% para 12% diminui os resultados de resistência à compressão, pois sabe-se, conforme a literatura, que a adição de qualquer tipo de resíduo no concreto provoca perda de resistência mecânica. Diferentemente ocorreu no ensaio de absorção de água, onde a dosagem “C” obteve valor inferior às demais dosagens, isto inclui a dosagem “A”, que não teve a adição de resíduos de borracha.

Diante dos resultados obtidos, não foi possível atingir a resistência mínima à compressão, que é de 35 MPa estabelecida para os pavers (NBR – 9780). Essa resistência mecânica não foi alcançada, pois o equipamento utilizado, uma vibro-prensa semi-automática pneumática, não dispõe de recursos necessários (compactação e vibração) para se conseguir uma resistência tão elevada como a especificada na norma brasileira. Dizemos resistências elevadas se compararmos com alguns países, como por exemplo, Austrália e África do Sul, que dominam essa técnica de fabricação e vem utilizando a pavimentação com pavers há muito mais tempo que o Brasil, e dispõem de normas que especificam resistências mínimas de 25 MPa, dependendo da utilização do produto. Caso este que não ocorre no Brasil, onde no momento só temos duas normas, onde uma especifica as peças e a outra o ensaio de resistência à compressão simples. Assim, dependendo da finalidade de utilização dos pavers, os mesmos poderiam apresentar resistências à compressão com valores mais baixos, já que por enquanto esse é o único quesito em relação a ensaios exigido para se fazer uso dos pavers no Brasil, se esquecendo que outros tipos de ensaios importantes deveriam ser realizados para se determinar a qualidade do material, como por exemplo, desgaste por abrasão e expansão dos agregados por umidade. Assim, dependendo do tipo de aplicação do material, por exemplo, utilização em calçadas, praças, jardins, parques ou outras aplicações que não envolvam sobrecargas elevadas, poderiam ser exigidos uma resistência à compressão menor que o valor mínimo de 35 MPa, exigido pela norma brasileira.

Com relação à questão ambiental, a diminuição da resistência mecânica à compressão também seria muito interessante, porque para se obter resistências menores diminuiríamos o consumo do aglomerante cimento, o que poderia resultar na redução do valor final do produto, e ao mesmo tempo servir para reduzir o alto consumo de cimento que é feito nos dias atuais, no qual se sabe que em sua fabricação o processo de industrialização utilizado pelas usinas cimenteiras se enquadra em um grande poluidor ambiental.

#### **4. CONCLUSÕES**

Baseado nos aspectos gerais sobre o concreto dos pavers acrescido de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus, conclui-se que os resultados dos ensaios realizados nos pavers são bastante satisfatórios.

Os resultados indicaram que as dosagens com resíduos “B” e “C” (Figura 6), apresentaram as resistências mais elevadas, levando a crer inicialmente, que a adição acima de 10% (em volume) de resíduos apresenta uma queda maior de resistência mecânica à compressão. O que pode ser comprovado pelo resultado do ensaio de absorção de água da dosagem “D” (Figura 7), que foi a dosagem que apresentou a maior absorção de água (o limite máximo de absorção estabelecido pela NBR – 12118 é de 10%), ressaltando que nenhuma das dosagens superou o limite máximo de absorção de água. Vale ressaltar que em todas as dosagens de concreto com a adição dos resíduos de borracha, não se reduziu as quantidades de areia em sua composição, mas sim as quantidades de pedrisco utilizadas.

Tomando por base essas considerações, o uso dos resíduos de pneus na fabricação de pavers de concreto pode apresentar algumas vantagens na sua utilização, tais vantagens são itenizadas na seqüência:



- Reduzir um resíduo que se encontra na natureza causando problemas de saúde e degradação ambiental;
- Otimizar a vida útil dos aterros sanitários, já que a degradação dos resíduos de borracha pode durar até 250 anos, segundo estimativas;
- Reduzir o consumo das fontes naturais de agregados normalmente empregados em artefatos de cimento;
- Reduzir a emissão atmosférica de alguns poluentes que são gerados durante a queima dos pneus;
- Reduzir os riscos à saúde pública;
- Reduzir a sobrecarga nas pavimentações intertravadas, pelo fato da borracha possuir uma densidade baixa e consequentemente diminuir o peso final das peças de concreto.

Pelas suas características aqui relatadas, o emprego desse tipo de resíduo pode perfeitamente contribuir para que futuramente esse material deixe de ser um problema ambiental e de saúde pública, e passe a ser uma fonte de material alternativo a ser empregado com sucesso na construção civil.

## 5. AGRADECIMENTOS

- Eletra Indústria e Comércio de Blocos;
- Holcim do Brasil;
- Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP de Ilha Solteira.

## 6. REFERÊNCIAS

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991). *NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida*. Rio de Janeiro.

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

HOLANDA, O. G. J. (2000). *Blocos de concreto para alvenaria estrutural*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 42, 2000, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Arte Interativa, CD-ROM.

LIDDLE, B. T. (1994). *Construction for sustainability and the sustainability of the construction industry*. In: CIB TG 16 SUSTAINABLE CONSTRUCTION. *Proceedings*. 1994, Tampa, Florida, United States. *Anais...* Florida, United States, p.47-56.

PIOROTTI, J. L. (1985). *Pavimentação intertravada*. 1ª edição. Rio de Janeiro: Montana S. A. Indústria e Comércio, 1985, 64p.

ROSTAMI, H. et al. (2000). *Use of recycled rubber tires in concrete*. In: PROC. INT. CONF. CONCRETE. 2000, University of Dundee, UK 1993, p.391-399.

SMITH, D. R. (2000). *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, p.473-482.