

# Concreto convencional com adição de borracha reciclada de pneus: estudo das propriedades mecânicas

## *Conventional concrete with addition of recycled rubber tires: Study of the mechanical properties*

**Emerson Verzeznassi**

Engenheiro Civil, Tecnólogo em Construção Civil  
Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas.  
Rua Paschoal Marmo, 1888, 13484-332, Limeira, SP, Brasil  
emerson@ft.unicamp.br

**Rosa Cristina Cecche Lintz**

Professora Doutora  
Faculdade de Tecnologia Universidade Estadual de Campinas  
Rua Paschoal Marmo, 1888, 13484-332, Limeira, SP, Brasil  
rosacclintz@ft.unicamp.br

**Luisa Andréia Gachet Barbosa**

Professora Doutora  
Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas  
Rua Paschoal Marmo, 1888, 13484-332, Limeira, SP, Brasil  
gachet@ft.unicamp.br

**Ana Elisabete P.G. de Avila Jacintho**

Professora Doutora  
CEATEC, Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Rod. Dom Pedro I, km 136, 13086-900, Campinas, SP, Brasil  
anajacintho@gmail.com

### Resumo

O mundo vive hoje a necessidade premente da diminuição de emissão de gases de efeito estufa, da diminuição e se possível da nulidade de descartes e despejo de materiais resultantes de processos produtivos que poluem e degradam o meio ambiente. Dentre esses problemas os pneus inservíveis tem se tornado um grande problema para meio ambiente devido a anos de disposições incorretas. No movimento de reaproveitamento, reciclagem e eliminação de resíduos, o setor da construção civil tem se tornado um grande parceiro das demais áreas de produção para a redução dos mais diversos tipos de rejeitos industriais, pelo reaproveitamento desses materiais, pela utilização dos mesmos em produtos para a construção civil, assim como a substituição de materiais tradicionais e de diversas outras formas. Foram produzidos diferentes traços de concreto sem e com diferentes porcentagens de borracha de pneus. Os resultados indicam nítida perda de resistência tanto na compressão como na tração por flexão.

**Palavras-chave:** *materiais alternativos, materiais e componentes de construção, reciclagem de materiais.*

### Abstract

The world is now pressing for decreasing emissions of greenhouse gases, the reduction and possible revocation of culling and disposal of materials resulting from manufacturing processes that pollute and degrade the environment. Among these problems unused tires has become a major problem for the environment due to years of provisions incorrect. On motion of reuse, recycling and waste disposal, construction has become a major partner of the other production areas to reduce several types of industrial wastes by reusing these materials, the introduction of these materials in construction products civil, replacement of traditional materials and various other ways. Have produced different concrete mixtures without and with different percentages of rubber tires. The results indicate a clear loss of strength both in compression as in tension.

**Key words:** *alternative materials, materials and components in construction, materials recycling.*

## 1. Introdução

A questão ambiental é um fator preponderante em todas as áreas do conhecimento humano e, concomitante ao aquecimento global, há a necessidade da diminuição da emissão de gases poluentes na atmosfera e da minimização da exploração de recursos naturais não renováveis.

No setor de construção civil as ações neste sentido vêm se intensificando pela substituição gradativa do alto consumo de recursos provenientes de matérias primas naturais pelos resíduos gerados dentro do seu próprio sistema produtivo e/ou de outros, os quais são processados, reciclados e reaproveitados como matérias primas artificiais.

Alguns exemplos elucidam estas práticas, tais como: o emprego de lâmpadas fluorescentes na produção de pisos cerâmicos; a substituição de agregados miúdo e graúdo naturais por agregados miúdo e graúdo reciclados (RCD) na produção de argamassas, concretos e elementos de alvenaria; a incorporação de escórias de alto forno, pozolanas e cinzas volantes na fabricação de cimento. Os pneus inservíveis são também utilizados como combustível nas indústrias cimenteiras.

Dentre os rejeitos das mais diversas origens, o dos pneus automotivos, representa um grande problema ao meio ambiente, tanto pelo volume gerado (Tabela 1), como pela inexistência de uma legislação sobre a destinação correta dos pneus inservíveis até o ano de 1999, o qual teve a criação da Resolução do CONAMA nº 258 (CONAMA, 1999) onde as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos para uso em veículos automotores e bicicletas ficaram obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis existentes no território nacional, na proporção definida nesta Resolução relativamente às quantidades fabricadas e/ou importadas.

Atualmente a Resolução do CONAMA nº 416 de 30 de setembro de 2009 que está em vigor estabelece que os fabricantes e os importadores de pneus novos deverão implantar, nos municípios acima de 100.000 (cem mil) habitantes, pelo menos um ponto de coleta no prazo máximo de até 01 (um) ano, a partir da publicação desta Resolução.

O volume de pneus produzidos no país aparece num ritmo crescente, diminuindo em 2009 (Tabela 1) devido a crise econômica mundial, porém com perspectivas de recuperação.

*Tabela 1: Produção de pneumáticos em unidades por grupo (Fonte: ANIP, 2010).*

<b>Pneumáticos</b>	<b>Total 2007 (milhares)</b>	<b>Total 2008 (milhares)</b>	<b>Total 2009 (milhares)</b>	<b>Participação 2009 %</b>	<b>Crescimento 2009/2008 %</b>
1 - Carga	13.377	13.209	6.034	11%	-54%
3 - Automóveis	28.791	29.591	27.492	51%	-7%
Subtotal	42.168	42.801	33.526	62%	-22%
4 - Motocicletas	13.725	15.249	11.822	22%	-22%
5 - Outros	1.354	1.640	8.463	16%	416%
11 - Total de Pneumáticos	57.247	59.690	53.811	100%	-10%

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP, 2010) entre 2007 e 2009 foram reciclados cerca de 200 milhões de pneus usados no Brasil, o que corresponde a cerca de 1 milhão de toneladas. Deste volume cerca de 80% são utilizados como combustível alternativo para a indústria de

cimento, 15% na fabricação de pó de borracha, artefatos, asfalto e 5% como matéria prima para fabricar solado de sapato e dutos fluviais.

Com a necessidade de serem dadas outras alternativas à destinação de pneus inservíveis, muitos pesquisadores tem estudado a viabilidade técnica desta incorporação no setor da construção civil.

Segundo Silva *et al.* (2007) o concreto é o material mais utilizado na construção civil e nem sempre satisfaz todas as características solicitadas nos projetos. Isto acaba levando a uma busca constante por alternativas, tanto relacionadas a novos materiais e técnicas, que adéqüem o concreto às características específicas de cada projeto.

Albuquerque (2009) relata que a adição de borracha de pneus na mistura do concreto acarreta em uma diminuição tanto das resistências à compressão quanto à tração, no entanto o mesmo concreto demonstra uma capacidade maior de deformação e comportamento à fratura menos frágil, indicando uma maior capacidade de absorção de energia quando comparado ao concreto convencional. E ainda afirma que esse comportamento do material é atribuído ao desempenho da borracha de pneu, que suporta grande deformação elástica antes da fratura do concreto, característica esta interessante na redução da fissuração de concretos sujeitos a variações volumétricas.

Rodríguez *et al.* (2006) observam no estudo da comparação do comportamento de concretos com a incorporação de borracha tratada quimicamente em soluções químicas básicas (NaOH) e ácidas (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e de concretos com borracha sem tratamento que há a melhoria dos resultados de resistência à compressão dos traços de concreto com borracha tratada em relação ao traço de concreto com borracha não tratada, devido a maior interação borracha-pasta de cimento favorecendo a diminuição da porosidade do compósito.

Seydell e Lintz (2009) mostram, em suas pesquisas sobre pavimentos de concreto com a substituição de 10%, 20%, 30% e 40% do agregado miúdo pela borracha de pneu que há perda nas resistências à compressão, flexão e tração. E ainda Toutanji (1996) verifica que a resistência à compressão sofre o dobro de redução em relação à tração, para concretos com borracha de pneus.

Yunping Xi *et al.* (2004) observam que o concreto com borracha apresenta características únicas com potencial para uso em variadas aplicações.

Zhu *et al.* (2008) demonstram através de medidas de coeficiente de absorção acústica que a borracha triturada pode se apresentar como uma alternativa viável para barreiras de concreto em rodovias.

Com base nos diversos estudos, apresentados acima, esta pesquisa versa sobre o estudo do comportamento mecânico de concretos sem e com borracha produzida a partir da reciclagem de pneus usados.

## 2. Materiais e Métodos

Para os estudos preliminares calculou-se um traço de concreto segundo o método de dosagem da ABCP/ACI com uma resistência de dosagem 26,6 MPa.

Partindo de um traço inicial de concreto foram elaborados outros três traços de concreto com adição de 1%, 3% e 6% de borracha em relação à massa de cimento.

Os traços de concreto estudados foram quatro: traço de controle (PE), traços com 1% de borracha (1E), 3% de borracha (3E) e 6% de borracha (6E).

Cabe ressaltar que nas misturas de concreto com borracha reciclada, esta foi simplesmente adicionada nas porcentagens já descritas sem a alteração do fator água/cimento.

Todas as misturas foram feitas em betoneira de eixo inclinado, seguindo a ordem de carregamento: agregado graúdo, água, cimento, borracha reciclada e agregado miúdo (areia natural).

Para todas as misturas foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura (NBR 5738/08, ABNT, 2008b) para o ensaio de ruptura à compressão (NBR 5739/07, ABNT, 2007) e para a determinação do módulo estático de elasticidade (NBR 8522/08, ABNT, 2008a), corpos de prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura (NBR 5738/08, ABNT, 2008b) para o ensaio de ruptura à tração na compressão diametral (NBR 7222/94, ABNT, 1994) e corpos de prova prismáticos de 15 cm de aresta por 50 cm de comprimento (NBR 5738/08, ABNT, 2008b) para o ensaio de tração na flexão (NBR 12142/91, ABNT, 1991). Todos os ensaios foram feitos aos 3 e 7 dias de idade, exceto o ensaio para a determinação de módulo estático de elasticidade que foi realizado aos 7 dias.

Para a moldagem das misturas foi utilizado cimento CPVARI, areia natural de rio, brita de origem basáltica e borracha reciclada proveniente de pneus inservíveis, sendo a proporção em massa do traço de controle igual a 1:2,63:2,17:0,59 (cimento:areia:brita:água).

## 2.1. Características física dos materiais

Os materiais foram caracterizados granulometricamente conforme NBR NM 248/03 (ABNT, 2003c), quanto às massas específicas conforme as NBR NM 52/03 (ABNT, 2003a) para o agregado miúdo e NBR NM 53/03 (ABNT, 2002) para o agregado graúdo. Para a massa unitária seguiu-se a NBR 7251/82 (ABNT, 1982) e para a determinação da absorção utilizou-se a NBR NM 30/01 (ABNT, 2001) para o agregado miúdo e a NBR NM 53/03 (ABNT, 2002) para o agregado graúdo.

O agregado graúdo é classificado como material pertencente a Zona 9,5/25,0 (Brita 1) cuja dimensão máxima característica é 19 mm e módulo de finura igual a 5,57. Os resultados de massas específicas e absorção são:

- Massa Unitária =  $1450 \text{ kg/m}^3$
- Massa Específica Aparente =  $2,71 \text{ g/cm}^3$
- Massa Específica Condição Saturada Superfície Seca =  $2,75 \text{ g/cm}^3$
- Massa Específica do Agregado =  $2,84 \text{ g/cm}^3$
- Absorção = 1,1%

O agregado miúdo é classificado como material pertencente a Zona Utilizável Superior, cuja dimensão máxima característica é 6,3 mm e módulo de finura igual a 2,95.

Os resultados de massas específicas e absorção são:

- Massa Unitária =  $1440 \text{ kg/m}^3$
- Massa Específica Aparente =  $2,56 \text{ g/cm}^3$
- Massa Específica Condição Saturada Superfície Seca =  $2,58 \text{ g/cm}^3$
- Massa Específica do Agregado =  $2,61 \text{ g/cm}^3$
- Absorção = 0,4%
- Pulverulento = 0,9 %

O cimento Portland empregado é do tipo CP V ARI, cujo índice de finura do cimento é 0,5% e massa específica igual a  $3,08 \text{ g/cm}^3$ .

As características da borracha reciclada (Figura 1) estão apresentadas a seguir:

- Massa específica:  $0,88 \text{ g/cm}^3$
- Massa unitária:  $390 \text{ kg/m}^3$
- Dimensão máxima característica: 2,4 mm
- Módulo de finura: 1,73



Figura 1: Borracha reciclada.

## 2.2. Ensaios laboratoriais

A determinação da resistência à compressão para todas as misturas foi realizada de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007). Foram ensaiados corpos de prova aos 3 dias de idade e aos 7 dias (Figura 2).

Para a determinação da resistência à tração por compressão diametral foram ensaiados corpos de prova cilíndricos de 15x30 cm aos 3 e 7 dias de idade conforme NBR 7222 (ABNT, 1994) (Figura 3).

Para determinação da tração na flexão foram ensaiados corpos de prova prismáticos de 15x15x50 cm para 3 e 7 dias de idade, de acordo com a NBR 12142 (ABNT, 1991) (Figura 4).

Na determinação do módulo estático de elasticidade foram realizados ensaios aos 7 dias de idade conforme a NBR 8522 (ABNT, 2008a) (Figura 5).



*Figura 2: Ruptura dos corpos de prova à compressão.*



*Figura 3: Ruptura dos corpos de prova à tração por compressão diametral.*



*Figura 4: Ruptura dos corpos de prova por tração na flexão.*



*Figura 5: Ensaio de módulo de elasticidade.*

### **3. Resultados e Discussão**

A Tabela 2 mostra os resultados dos ensaios mecânicos, feitos para cada traço das misturas aos três e sete dias de idade.

Observando-se os resultados aos 3 dias, se verifica um aumento da resistência à compressão de acordo com o aumento da adição de borracha. Este aumento de resistência deve estar relacionado ao fato de que a simples adição da borracha, sem alteração do fator água/cimento em todos os traços, faz com que a borracha presente aumente o consumo de água livre na mistura, diminuindo o abatimento e aumentando o desempenho da pasta de cimento nas primeiras idades. Porém, através dos resultados da resistência à

compressão, aos 7 dias, pode-se notar que existe uma perda de resistência das misturas com borracha diretamente relacionada com a porcentagem de adição, quanto maior a adição, maior a perda de resistência à compressão. Estes dados mostram que, a pouca capacidade de suporte da borracha presente na mistura de concreto provavelmente forma pontos frágeis como se fossem vazios, ocasionando assim a diminuição da capacidade de resistência à compressão.

Tabela 2: Resultados dos ensaios mecânicos.

Traço (% de adição)	Resistência a compressão (MPa)		Resistência à tração por compressão diametral (MPa)		Resistência à tração na flexão (MPa)		Módulo de elasticidade estático à compressão (GPa)
	3 dias	7 dias	3 dias	7 dias	3 dias	7 dias	7 dias
PE (0%)	24,8	33,3	2,29	2,34	5,56	5,49	44,21
1E (1%)	24,9	32,0	2,28	2,72	6,15	5,55	41,36
3E (3%)	25,9	30,4	2,34	2,76	5,36	5,49	43,55
6E (6%)	27,5	27,2	1,99	2,58	4,38	4,83	42,45

Os resultados de tração por compressão diametral apontam uma melhora na resistência das misturas com borracha, em relação ao traço de controle, isso ocorre tanto aos 3 dias quanto aos 7 dias. Para a resistência à tração na flexão nota-se uma melhora quase imperceptível de 1% no desempenho da mistura com adição de 1% de borracha, mas com 3% não há praticamente variação e para 6% acaba havendo uma queda em relação ao traço de controle. Este comportamento mostra uma tendência de queda no resultado de tração na flexão conforme se aumenta a adição de borracha, mas com menor intensidade do que a queda na resistência à compressão, mostrando que concretos com borracha tendem a absorver mais energia como também observado por Seydell e Lintz (2009).

Os ensaios de módulo de deformação mostram uma diminuição de valores desta propriedade para os concretos com borracha.

Na Tabela 3 faz-se uma comparação percentual entre os resultados da mistura de controle (PE) com os resultados das misturas com adição de borracha.

Tabela 3: Variação percentual das resistência em relação ao traço de controle.

Traço	Resistência a compressão (%)		Resistência à tração por compressão diametral (%)		Resistência à tração na flexão (%)		Módulo de elasticidade estático à compressão (%)
	3 dias	7 dias	3 dias	7 dias	3 dias	7 dias	7 dias
1E (1%)	0,40	-3,90	-0,44	16,24	10,61	1,09	-6,45
3E (3%)	4,44	-8,71	2,18	17,95	-3,60	0,00	-1,49
6E (6%)	10,89	-18,32	-13,10	10,26	-21,22	-12,02	-3,98

As propriedades mecânicas à tração, dos traços com adição de borracha, mostram perdas pequenas de resistência em relação aquelas observadas para a resistência à compressão, havendo até uma melhora de desempenho na tração por compressão diametral, constatando que os concretos com borracha tendem a absorver mais energia quando submetidos aos esforços de tração, como também observa Seydell e Lintz



(2009). Muitos outros autores também observam que os compósitos de cimento com borracha apresentam um bom comportamento quanto à tração comparando-se com a compressão (Meneguini e Paulon, 2003; Acetti e Pinheiro, 2000; César *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2006; Mosca *et al.*, 2005). Pode-se concluir que, apesar da perda de resistência à compressão, a adição de borracha ao concreto é viável desde que se desenvolvam traços e aplicações adequadas.

## 4. Conclusão

Pelos resultados obtidos nos ensaios mecânicos conclui-se que:

- Para a resistência à compressão medida aos 7 dias de idade, existe uma relação direta entre o aumento da porcentagem de borracha adicionada na mistura e a perda da resistência;
- Para a resistência à tração por compressão diametral medida aos 7 dias de idade, observa-se que para todas as misturas com borracha há uma melhora considerável desta propriedade em relação ao concreto de controle;
- Quanto à tração na flexão, observa-se uma queda na resistência após a adição de mais de 3% de borracha na mistura.
- Quanto à determinação do módulo de elasticidade nota-se um aumento desta propriedade comparando-se as misturas com 1% de borracha e as demais misturas com borracha, sendo necessária a realização de mais ensaios principalmente aos 28 dias de idade.

## Agradecimento

Os autores agradecem ao apoio oferecido pelos técnicos do Laboratório de Materiais da Faculdade de Tecnologia da UNICAMP.

## Referências

- ACCETTI, K.M.; PINHEIRO, L.M. 2000. Tipos de fibras e propriedades do concreto com fibras. *In*: Congresso Brasileiro do Concreto, 42, Fortaleza, 2000. *Anais...* Fortaleza, IBRACON, 2000, CD-ROM.
- ALBUQUERQUE, A.C. 2009. Estudos das propriedades de concreto massa com adição de partículas de borracha de pneus. Tese de Doutorado. Porto Alegre, RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 257 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1982. *NBR 7251 - Agregado em estado solto - Determinação da massa unitária*. Rio de Janeiro, ABNT, 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1991. *NBR 12142 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos*. Rio de Janeiro, ABNT, 4 p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 1994. *NBR 7222 - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, ABNT, 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2001. *NBR NM30 - Agregado Miúdo - Absorção de Água*. Rio de Janeiro, ABNT, 10 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2002. *NBR NM53 - Agregado graúdo - Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro, ABNT, 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2003a. *NBR NM52 - Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente*. Rio de Janeiro, ABNT, 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2003b. *NBR NM 46 - Agregados- Determinação do material fino que passa pela peneira 75 micrometro, por lavagem*. Rio de Janeiro, ABNT, 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2003c. *NBR NM 248 - Agregados -Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, ABNT, 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2005. *NBR 7211 EB4 - Agregados: Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, ABNT, 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2007. *NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, ABNT, 9 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2008a. *NBR 8522 - Concreto - Determinação do módulo de elasticidade à compressão*. Rio de Janeiro, ABNT, 16 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). 2008b. *NBR 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Rio de Janeiro, ABNT, 6 p.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE PNEUMÁTICOS (ANIP). 2010. Disponível em: [http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo\\_pagina=Produ%E7%E3o](http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o). Acessado em 02/06/2010.
- CÉSAR, S.A.B.M.; MOSCA, A.M.A.; LINTZ, R.C.C.; CARNIO, M.A. 2006. Estudo das propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha de pneu. *In: Congresso Brasileiro do Concreto, 48*, Rio de Janeiro, 2006. *Anais...* Rio de Janeiro, IBRACON, 2006, CD-ROM.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). 1999. Dispõe sobre a disposição ambientalmente correta de pneus inservíveis. Resolução 258, de 23 de agosto.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). 2009. *Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências*. Resolução 416, de 30 de setembro.
- MENEGUINI, E.C.A.; PAULON, V.A. 2003. Comportamento de argamassas com emprego do pó de borracha. *In: Congresso Brasileiro de Concreto, 45*, Vitória, 2003. *Anais...* Vitória, IBRACON, 2003, CD-ROM.

- MOSCA, A.M.A.; LINTZ, R.C.C.; CÁRNIO, M.A. 2005. Influência da utilização da borracha vulcanizada nas propriedades mecânicas do concreto. *In: Congresso Brasileiro de Concreto, 47, Olinda, 2005. Anais...* Olinda, IBRACON, 2005, CD-ROM.
- OLIVEIRA, M.G.; SCUSSEL, A.C.L.; LINTZ, R.C.C.; BRAZ, J.C.R. 2006. Estudo comparativo do comportamento mecânico de argamassas enriquecidas com borracha. *In: Congresso Brasileiro de Concreto, 48, Rio de Janeiro, 2006. Anais...* Rio de Janeiro, IBRACON, 2006, CD-ROM.
- RODRÍGUEZ, A.L.; LÓPEZ, D.A.R.; MÄHLMANN, C.M.; DORNELLES, L.; VAZ, M.J. 2006 Aprimoramento tecnológico de habitações populares construídas com materiais alternativos. *In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 5, Porto Alegre. Anais...* Porto Alegre, **1**:1-7.
- SEYDELL, M.R.R.; LINTZ, R.C.C. 2009. Propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha de pneus para pavimentos rodoviários. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, **5**(3):363-373. <http://dx.doi.org/10.4013/ete.2009.53.08>
- SILVA, L.B.A.; SILVA, J.M. da; DIAS, F.M. 2007. Adição de borracha de pneu em concreto. *In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 51, Salvador, 2007. Anais...* Salvador.
- TOUTANJI, H.A. 1996. The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates. *Cement and Concrete Composites*, **18**(2):135-139.
- YUNPING, X.; YUE, L.; ZHAOHUI, X.; JAE, S.L. 2004 Utilization of solid wastes (waste glass and rubber particles) as aggregates in concrete. *In: International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, Beijing, China, 2004. Anais...* Beijing, p. 45-54.
- ZHU, H.; CHUNSHENG, L.; KOMBE, T.; THONG-ON, N. 2008. Crumb rubber blends in noise absorption study. *Materials and Structures*, **41**:383-390.

Submissão: 26/10/2010  
Aceite: 24/07/2011