

Propriedades mecânicas do concreto com adição de borracha de pneus para pavimentos rodoviários

Mechanical properties of concrete with the addition of tire rubber for roadway pavements

Maria Rachel Russo Seydell

Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Rod. D. Pedro I, km 136
13086-900, Campinas SP, Brasil
mrachel@puc-campinas.edu.br

Rosa Cristina Cecche Lintz

Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Rod. D. Pedro I, km 136
13086-900, Campinas SP, Brasil
rosacclintz@puc-campinas.edu.br

Resumo

O Brasil é considerado um laboratório riquíssimo de solos e clima tipicamente tropicais de grande importância para a geotecnia e a infra-estrutura de transportes. A pavimentação consome uma enorme quantidade de materiais, em que pode ser feita a aplicação racional de resíduos e rejeitos, sejam in natura, processados ou modificados. Os resíduos produzidos pela indústria de pneus têm representado um problema nacional crescente, o que tem incentivado pesquisas para determinar novas formas de reaproveitamento do material. Este estudo trata da avaliação das propriedades mecânicas do concreto com adição de fibras de borracha provenientes da trituração de pneus para emprego em pavimentação. Foram produzidos diferentes traços de concreto nos quais parte de agregado miúdo foi substituída por borracha de pneus nas porcentagens de 10%, 20%, 30% e 40% em massa. Os resultados experimentais mostram que, devido à perda de resistência e dificuldades operacionais, não é recomendável a incorporação de borracha de pneus em concreto para pavimentação.

Palavras-chave: reaproveitamento, resíduos, borracha de pneus, pavimentação, concreto, propriedades mecânicas.

Abstract

Brazil is considered a very rich laboratory of tropical soil and climate of great importance to geotechnical engineering and transport infrastructure. Paving consumes an extremely large quantity of materials, being the source of rational application of waste and rejected materials, being natural, altered, processed or modified. The production of waste by tire industry has been a growing problem, indicating the need for research to find out new ways for its reuse. This study deals with the evaluation of the mechanical properties of modified concrete with the addition of rubber fibers provided from tire crushing to be used in roadway pavements. Different concrete traces were produced, within which part of the fine aggregates were substituted by tire rubber in 10%, 20%, 30% and 40% in mass. Material characterization and mechanical experiment testing were performed, which show that, due to the great resistance loss and operational difficulties, the addition of tire rubber in concrete for pavements is not recommended.

Key words: reuse, waste, tire rubber, paving, concrete, mechanical properties.

1. Introdução

Da reciclagem de pneus origina-se a pasta de borracha e a partir desta, pisos industriais, borrachas de vedação, obstáculos para trânsito, solados de sapatos etc. Pesquisas têm sido realizadas para a utilização da forma inteira da borracha, seja nas contenções das margens de rios para evitar desmoronamentos, na construção de recifes artificiais para criação de peixes, de quebra-mares, ou mesmo na construção de equipamentos para parques infantis.

A regulamentação no Brasil, para a destinação final deste material, foi publicada em Diário Oficial da República Federativa do Brasil em 2 de dezembro de 1999 (Resolução 258, de 26 de agosto de 1999, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, 1999). Segundo esta resolução, para cada quatro pneus novos, as empresas fabricantes e importadoras devem dar destinação final a cinco pneus inservíveis.

A pavimentação consome um volume elevadíssimo de materiais, sendo uma fonte de aplicação racional de resíduos e rejeitos. A produção de resíduos pela indústria de pneus tem representado um problema nacional crescente, indicando a necessidade de seu reaproveitamento, porém, sem aceitação de menor qualidade, mas na adequação deste material alternativo às condições de uso e às solicitações dos pavimentos.

O setor da construção civil é um segmento que pode absorver resíduos industriais, a fim de contribuir para a redução da exploração de agregados naturais não-renováveis e para a diminuição do depósito de materiais inservíveis descartados de forma ambientalmente incorreta. O uso de borracha em argamassa e concreto é uma alternativa limpa de reciclagem, pois a queima de pneus dispostos em aterros libera gases tóxicos na atmosfera.

Yunping Xi *et al.* (2004) mostram que para reutilizar resíduos sólidos, tais como partículas de borracha de pneus, foram desenvolvidos estudos experimentais para o desenvolvimento de um tipo diferente de concreto – o concreto modificado com borracha, que possui características únicas com potencial para uso em variadas aplicações.

Hernández-Olivares *et al.* (2002) apontam, em suas pesquisas, que as maiores dificuldades para a aplicação de concreto são seu comportamento rígido e sua facilidade de fissurar nas primeiras idades devido à retração plástica. Entretanto, segundo Albuquerque *et al.* (2002), a adição de borracha pode melhorar algumas características do concreto, tais como sua flexibilidade, elasticidade e capacidade de absorver energia e impacto.

Ruídos de tráfego, dentro de um raio de frequência de 250 e 4.000 Hz, têm se agravado e representam um grave incômodo para as pessoas. Barreiras anti-ruído têm sido construídas em rodovias para atenuar o problema e, nesse sentido, Zhu *et al.* (2008), através de medidas de coeficiente de absorção acústica, demonstram que a borracha triturada pode se apresentar como uma alternativa viável para barreiras de concreto em rodovias.

Em termos de desempenho mecânico, Toutanji (1996) conclui que a incorporação de resíduo de borracha de pneu no concreto causa perda nas resistências à compressão e à tração por flexão, sendo que a resistência à compressão sofre o dobro de redução em relação à tração.

Segundo Fattuhi e Clark (1996), o decréscimo na resistência está possivelmente relacionado à ação da borracha absorver pouco o carregamento em relação aos outros componentes e ao mesmo tempo possibilitar maior deformação lateral, que pode levar o concreto à ruptura.

Ali *et al.* (1993), ao ensaiar concretos com adição de partículas de borracha, constata que ocorre queda brusca nas resistências à compressão e à tração, de acordo com o aumento de ar incorporado em concretos contendo borracha. O autor atribui à queda da resistência mecânica, o fato de que a borracha é incapaz de absorver cargas sem deformação excessiva.

Conforme mostra Topçu (1995), as propriedades do concreto com borracha são influenciadas pela granulometria da borracha. Agregados graúdos de borracha afetam de forma negativa as propriedades do concreto de maneira mais significativa que agregados de borracha de granulometria miúda. O autor verificou, também, que concretos com borracha têm as propriedades requeridas para aplicações arquitetônicas em construções de rodovias onde altas resistências não são necessárias, tais como barreiras, sujeitas a impactos e de isolamento de sons, e para fixação de trilhos em ferrovias.

Para o dimensionamento de pavimentos de concreto no Brasil, segundo Rodrigues e Montardo (2002) e Massucato *et al.* (2005), a resistência à tração na flexão aos 28 dias deve ser superior a 4,2 MPa e a resistência à compressão deve ser de, no mínimo, 30 MPa, para consumo de cimento de 350 a 450 kg/m³.

Este estudo trata da avaliação das propriedades mecânicas do concreto modificado com adição de fibras de borracha provenientes da trituração de pneus para emprego em pavimentação rodoviária.

2. Materiais e Método

Os materiais foram selecionados e o método experimental foi conduzido com base nas Normas Brasileiras Revisadas (NBR) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

A influência da adição de fibras de borracha vulcanizada no concreto de Cimento Portland foi estudada a partir de ensaios mecânicos realizados em corpos-de-prova moldados com concreto, nos quais parte de agregado miúdo foi substituída por borracha de pneus nas porcentagens de 0%, 10%, 20%, 30% e 40% em massa.

Foram produzidos cinco traços de concreto, sendo empregadas duas frações de borracha: uma retida na peneira de malha 4,8 mm e outra retida na peneira de malha 2,4 mm. As composições dos concretos empregados estão mostradas na Tabela 1.

Para todas as misturas foram realizados ensaios de caracterização e ensaios mecânicos de resistência à compressão - NBR 5739 (ABNT, 1994b), resistência à tração por compressão diametral - NBR 7222 (ABNT, 1994a) e resistência à tração na flexão - NBR 12142 (ABNT, 1991) nas idades de 7 e 28 dias.

A mistura dos concretos foi feita na betoneira intermitente de eixo inclinado - NBR 5738 (ABNT, 2003b). A colocação dos materiais foi feita na seguinte ordem: brita, parte da água (com aditivos), cimento, areia, borracha e o restante da água.

Os corpos-de-prova cilíndricos (10 x 20 cm) foram moldados sobre mesa vibratória à temperatura média de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar entre 49,5% e 62% e foram curados submersos em tanque de água saturado com cal, durante 28 dias, segundo NBR 5738 (ABNT, 2003b). Após a cura, os corpos-de-prova cilíndricos foram retificados e posteriormente capeados para a execução dos ensaios.

Tabela 1: Composição dos concretos com e sem borracha.

Materiais	Consumo (kg/m³)
0% de borracha - Concreto de Referência C_R	
Cimento	443
Agregado miúdo – areia artificial	212
Agregado miúdo – areia	314
Agregado graúdo – B ₀	638
Agregado graúdo – B ₁	638
Água	179
Fibras de borracha	0
Aditivo polifuncional	1,772
Aditivo incorporador de ar	0,08
10% de borracha - Concreto C₁	
Cimento	443
Agregado miúdo – areia artificial	212
Agregado miúdo – areia	283
Agregado graúdo – B ₀	638
Agregado graúdo – B ₁	638
Água	179
Fibras de borracha	31
Aditivo polifuncional	1,772
Aditivo incorporador de ar	0,08
20% de borracha - Concreto C₂	
Cimento	443
Agregado miúdo – areia artificial	212
Agregado miúdo – areia	251
Agregado graúdo – B ₀	638
Agregado graúdo – B ₁	638
Água	179
Fibras de borracha	63
Aditivo polifuncional	1,772
Aditivo incorporador de ar	0,08
30% de borracha - Concreto C₃	
Cimento	443
Agregado miúdo – areia artificial	212
Agregado miúdo – areia	220
Agregado graúdo – B ₀	638
Agregado graúdo – B ₁	638
Água	179
Fibras de borracha	94
Aditivo polifuncional	1,772
Aditivo incorporador de ar	0,08
40% de borracha - Concreto C₄	
Cimento	443
Agregado miúdo – areia artificial	212
Agregado miúdo – areia	189
Agregado graúdo – B ₀	638
Agregado graúdo – B ₁	638
Água	179
Fibras de borracha	125
Aditivo polifuncional	1,772
Aditivo incorporador de ar	0,08

2.1. Materiais

O aglomerante utilizado foi o cimento de alta resistência inicial tipo CP III 40 RS, mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Características físicas do cimento tipo CP III 40 RS.

Blaine (cm ² /g)		4443
Resíduo na peneira 325 (%)		2,5
Resíduo na peneira 400 (%)		5,3
Perda ao fogo (%)		2,31
Resíduo insolúvel (%)		0,85
SO ₃ (%)		2,08
Relação a/c (%)		30
Tempo de pega (min.)	início	203
	fim	273
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	12,2
	3 dias	30,3
	7 dias	41,2
	28 dias	53,2

Os agregados naturais utilizados foram:

- Agregado miúdo natural de origem quartzosa e agregado miúdo artificial de origem basáltica. A areia natural apresentou dimensão máxima característica de 1,2 mm - NBR 7211 (ABNT, 2005) e o agregado miúdo artificial apresentou dimensão máxima característica de 4,8 mm - NBR 7211 (ABNT, 2005).
- Agregado graúdo de origem basáltica. Foram empregados dois tipos de brita: brita 0 (cuja dimensão máxima característica do agregado é 9,5 mm) e brita 1 (cuja dimensão máxima característica do agregado é 12,5 mm).

As fibras de borracha vulcanizada foram obtidas através do processo de recauchutagem de pneus inservíveis empregados em veículos leves. Foram empregadas borrachas de dimensão máxima característica entre 2,4 mm e 4,8 mm, ilustradas nas Figuras 1 e 2.



Figura 1: Borracha de 4,8 mm.



Figura 2: Borracha de 2,4 mm.

2.2. Caracterização física dos materiais

Para o ensaio de massa específica absoluta da borracha, foi usado o frasco de Chapman, de acordo com as exigências da norma NBR NM 52 (ABNT, 2003a), sendo necessária a substituição da água pelo álcool etílico.

A massa específica absoluta dos agregados minerais foi determinada conforme a NBR NM 52 (ABNT, 2003a) para a areia, e segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2002) para a brita. A determinação da massa unitária dos agregados no estado solto foi realizada conforme as exigências da NBR 7251 (ABNT, 1982).

Para a caracterização e classificação dos agregados quanto à granulometria, foi executado peneiramento mecânico conforme as exigências da norma NBR 7211 EB4 (ABNT, 2005).

A Tabela 3 apresenta as características físicas dos materiais empregados na mistura.

Tabela 3: Valores das massas específicas dos materiais empregados.

Materiais	Massa Específica Aparente (kg/l)	Massa Específica Absoluta (kg/l)
Agregado miúdo – areia artificial	-	3,06
Agregado miúdo – areia natural	1,54	2,63
Agregado graúdo – B ₀	1,56	2,93
Agregado graúdo – B ₁	-	3,04
Borracha (4,8 mm)	0,39	0,88
Borracha (2,4 mm)	0,24	0,90

2.3. Ensaio de laboratório

2.3.1. Ensaio de resistência à compressão

A determinação da resistência à compressão foi realizada segundo NBR 5739 (ABNT, 1994b), com a utilização de corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm, ensaiados aos 7 e 28 dias de idade. A carga foi aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão, até a ruptura do corpo-de-prova.

2.3.2. Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

Na verificação da resistência à tração por compressão diametral - NBR 7222 (ABNT, 1994a), foram empregados corpos-de-prova cilíndricos de 10 x 20 cm, os quais foram ensaiados aos 7 e 28 dias de idade, rompidos em uma prensa universal para ensaios, sob velocidade de carregamento constante.

2.3.3. Ensaio de resistência à tração na flexão

Para a determinação da resistência à tração na flexão - NBR 12142 (ABNT, 1991), foram utilizados corpos-de-prova prismáticos de 75 x 15 x 15 cm (Figura 3), submetidos à ruptura aos 7 e 28 dias de idade. A ruptura ocorreu no terço médio da distância entre os elementos de apoio e a resistência à tração na flexão foi calculada pela expressão:

$$f_{ctm} = \frac{pl}{bd^2} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

em que f_{ctm} : resistência à tração na flexão [MPa]; p: carga de ruptura [N]; l: distância entre os apoios [mm]; b: largura média dos corpos-de-prova [mm]; e d: altura média dos corpos-de-prova [mm].



Figura 3: Ensaio de resistência à tração na flexão.

3. Resultados

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios mecânicos em função das porcentagens de resíduos incorporados às misturas.

Tabela 4: Resultados dos ensaios mecânicos.

Concreto	Resistência à compressão média (MPa)		Resistência à tração por compressão diametral (MPa)		Resistência à tração na flexão (MPa)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
C _R (0%)	51,70	54,20	3,30	4,60	6,45	7,07
C ₁ (10%)	26,72	31,80	2,54	3,39	5,10	5,15
C ₂ (20%)	18,30	23,10	2,05	2,11	3,37	3,40
C ₃ (30%)	16,40	21,20	1,54	2,10	3,07	3,10
C ₄ (40%)	4,90	5,97	1,00	1,22	1,61	1,64

Tabela 5: Percentagem de resistência em relação ao concreto de referência C_R.

Concreto	Resistência à compressão média (%)		Resistência à tração por compressão diametral (%)		Resistência à tração na flexão (%)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
C ₁ (10%)	51,7	58,6	76,9	73,7	79,0	72,8
C ₂ (20%)	35,4	42,6	62,1	45,8	52,2	48,0
C ₃ (30%)	31,7	39,1	46,6	45,6	47,6	43,8
C ₄ (40%)	9,5	11,0	30,3	26,5	24,9	23,2

A partir da Tabela 4 foi confeccionada a Tabela 5, que mostra as perdas de resistência dos concretos com borracha em relação ao concreto de referência.

4. Discussão

Analisando-se as perdas de resistência à compressão média aos 7 dias de idade, constata-se que as misturas C₁, C₂, C₃, C₄ apresentaram resistências à compressão média que corresponderam a 51,7%, 35,4%, 31,7% e 9,5%, respectivamente, do valor obtido para esta propriedade para o concreto de referência. Verifica-se, também, que as resistências das misturas C₂ (20%) e C₃ (30%) são próximas e que, para substituições acima de 30%, a queda na resistência passa a ser mais acentuada, como mostra a mistura C₄.

Comparando-se os valores das resistências à tração, observa-se que as misturas C₁, C₂, C₃, C₄ apresentaram uma queda menor nos valores das resistências à tração na flexão em relação à mistura de referência (C_R) que para as resistências à tração por compressão diametral. Estes resultados são confirmados na literatura onde, para a resistência à tração na flexão, os concretos com borracha tendem a absorver mais energia (Meneguini e Paulon, 2003; Acetti e Pinheiro, 2000; César *et al.*, 2006; Oliveira *et al.*, 2006; Mosca *et al.*, 2005).

5. Conclusões

Com base nas propriedades mecânicas estudadas dos concretos, sem e com borracha, conclui-se que os resultados provenientes dos ensaios realizados são importantes subsídios para as conclusões.

Os resultados obtidos revelam que as composições contendo borracha tiveram uma queda considerável nas resistências à compressão se comparados ao concreto de referência (sem borracha). As misturas com 20% e 30% de resíduos apresentaram resistências à compressão médias próximas, e indicam que, para percentagens acima de 30%, há uma queda de 90,5% da resistência em relação à mistura sem adição de borracha.

Para a resistência à tração, a substituição de 30% da quantidade de agregados pela borracha apresentou queda tanto na resistência à tração por compressão diametral como na resistência à tração na flexão, de aproximadamente 55% em relação à mistura de referência.

Conforme as especificações sobre dimensionamento de pavimentos de concreto no Brasil, a resistência à tração na flexão aos 28 dias deve ser superior a 4,2 MPa e a resistência à compressão deve ser de, no mínimo, 30 MPa, para o consumo de cimento empregado nesta pesquisa. Desta forma, para manter a qualidade e perda de resistência não significativa para uso em pavimentação, conclui-se que, para os traços de concreto estudados, a substituição de areia natural por borracha deve ser de, no máximo, 10%. Neste caso, recomenda-se a determinação do consumo de pneus por quilômetro de pavimento, para ser feita uma comparação com o consumo efetivo nas demais alternativas de reaproveitamento do material que têm sido adotadas atualmente.

O estudo da literatura técnica e as perdas de resistência constatadas no programa experimental realizado neste estudo demonstram que o pavimento de concreto não deve ser usado para dispor resíduos, os quais podem ter destinação em outras camadas do pavimento com mais eficiência e melhoria das condições técnicas. Em relação às questões práticas, existem dificuldades de homogeneização da borracha em misturas de concreto, além das dificuldades operacionais de locais para fazer as misturas e para estoque do material.

Para futuras pesquisas, considerando que a adição de borracha pode melhorar algumas características do concreto, tais como flexibilidade, elasticidade e capacidade de absorver energia e impacto (Hernández-Olivares *et al.*, 2002), recomendam-se estudos mais aprofundados para determinação de tenacidade à fratura e de fadiga do concreto com borracha visando sua aplicação na fabricação de elementos pré-moldados a serem empregados como defensas e barreiras de contenção rodoviárias.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio oferecido pelo Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil da PUC-CAMPINAS, onde os ensaios foram realizados.

Referências

- ACCETTI, K.M.; PINHEIRO, L.M. 2000. Tipos de fibras e propriedades do concreto com fibras. *In: 42º Congresso Brasileiro do Concreto, Fortaleza, 2000. Anais...* Fortaleza, IBRACON, 2000, CD-ROM.
- ALBUQUERQUE, A.C.; ANDRADE, M.A.S.; NETO, M.M.S.; CORREA, M.I.F.; CARDOSO, C.G.; MACEDO, D.C.B.; CALMON, J.L. 2002. Concreto com borracha de pneu: uma revisão bibliográfica. *In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte, 2002. Anais...* Belo Horizonte, IBRACON, 2002, CD-ROM.
- ALI, N.A.; AMOS, A.D.; ROBERTS, M. 1993. Use of ground rubber tyres in portland cement concrete. *In: Proceedings of the International Conference: Concrete 2000 — Economic and Durable Construction through Excellence.* University of Dundee, Scotland, **2**:379-390.
- 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. 1994a. *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. 1994b. *NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.* Rio de Janeiro, ABNT, 9 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 5738 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.* 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.
- 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: 48º Congresso Brasileiro do Concreto, 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.
- FATTUHI, N.I.; CLARK, L.A. 1996. Cement-based materials containing shredded scrap truck tire rubber. *Construction and Building Materials*, **10**(4):229-236.
- HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BARLUENGA, G.; BOLLATI, M.; WITOSZEK, B. 2002. Static and dynamic behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete. *Cement and Concrete Research* **32**:1587-1596.

- MASSUCATO, J.C.; MENEGUETI, D.A.; JACINTO, A.E.P.G.A. 2005. Estudo da influência da retração por secagem em concretos utilizados na execução de pavimentos. *In: 47º Congresso Brasileiro do Concreto*, Olinda, 2005. *Anais...* Olinda, IBRACON, 2005, CD-ROM.
- MENEGUINI, E.C.A.; PAULON, V.A. 2003. Comportamento de argamassas com emprego do pó de borracha. *In: 45º Congresso Brasileiro de Concreto*, 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: 47º Congresso Brasileiro de Concreto*, 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: 48º Congresso Brasileiro de Concreto*, Rio de Janeiro, 2006. *Anais...* Rio de Janeiro, IBRACON, 2006, CD-ROM.
- RODRIGUES, P.P.F.; MONTARDO, J.P. 2002. A influência da adição de fibras de polipropileno nas propriedades dos concretos para pisos e pavimentos. *In: 44º Congresso Brasileiro do Concreto*, Belo Horizonte, 2002. *Anais...* Belo Horizonte, IBRACON, 2002, CD-ROM
- TOPÇU, I. B. 1995. The properties of rubberized concretes. *Cement and Concrete Research*, **25**(2):304-310.
- 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: 17/04/2009
Aceite: 12/09/2009