

TERMOACUMULADOR DE CIMENTO PORTLAND COM AGREGADO DE RESÍDUO DE BORRACHA DE PNEU

Rogério Calazans Soares

UFRN – Dept. Eng. Mecânica - Laboratório de Transferência de Calor - Campus Universitário – Natal
RN – 59072-970 - e-mail: rogercz@uol.com.br

Christiano José Menezes da Costa

UFRN – Dept. Eng. Mecânica - Laboratório de Transferência de Calor - Campus Universitário – Natal
RN – 59072-970 - e-mail: christianomec@hotmail.com

José Ubiragi de Lima Mendes

UFRN – Dept. Eng. Mecânica - Laboratório de Transferência de Calor - Campus Universitário – Natal
RN – 59072-970 - e-mail: jubiragi@dem.ufrn.br

George Santos Marinho

UFRN – Dept. Eng. Mecânica - Laboratório de Transferência de Calor - Campus Universitário – Natal
RN – 59072-970 - e-mail: gmarinho@ct.ufrn.br

Resumo. *O reaproveitamento da borracha de pneu constitui um dos grandes desafios para a engenharia. Parte desse material vem sendo reaproveitado como fonte de energia pelas indústrias de cimento e siderúrgica, que utilizam-no como combustível de alto-forno. Alguns estudos demonstraram a viabilidade do reaproveitamento do pneu como agregado de asfalto, possibilitando melhoria das qualidades da pavimentação. Foram construídos modelos de termoacumuladores com blocos de cimento com agregado de resíduo de borracha de pneu; consideraram-se duas porcentagens diferentes do resíduo como agregado na fabricação dos blocos. Um termoacumulador foi construído sem resíduo de borracha, para servir como referência. Termopares foram instalados em cinco pontos distintos de cada termoacumulador e, em seguida, conectados a um sistema de registro de temperaturas via computador. Após o preenchimento com água, os termoacumuladores foram submetidos a uma fonte de radiação térmica artificial, em ambiente com controle térmico. Os dados obtidos nos experimentos foram utilizados para construção de gráficos que permitiram comparar o desempenho térmico de cada termoacumulador. Concluiu-se que, o uso do resíduo de borracha de pneu como agregado de cimento possibilita o aumento da eficiência de termoacumuladores.*

Palavras-chave: borracha de pneu, agregado, cimento.

1. INTRODUÇÃO

Todos os dias são fabricados cerca de 2 milhões de novos pneus no mundo. Isto significa uma produção anual de 730 milhões de pneus. Ao mesmo tempo, hoje são transformados em sucata 800 milhões de unidades por ano. No Brasil, em 1993, aproximadamente 0,5 % do lixo urbano brasileiro eram de pneus velhos e fora de uso. Hoje são descartados no país cerca de 17 milhões de pneus por ano. (<http://www.usp>, 2003)

Pesquisadores das engenharias civil, mecânica e química têm proposto soluções para reaproveitamento do material de pneus descartados. Com base em dados sobre propriedades físicas e de estabilidade química, Salini (2003) estudou o uso da borracha do pneu para ser incorporado ao pavimento asfáltico. Também por meio de análises químicas, Segre (1999) comprovou a viabilidade do emprego da mistura de borracha de pneu moída à pasta de cimento na produção de um composto resistente à abrasão e à flexão, propriedades consideradas importantes do ponto de vista mecânico. Além disso, o autor considera como principal vantagem do reaproveitamento do material o aspecto ambiental, já que se recupera um dos materiais menos reciclados em todo o mundo.

Conforme colocaram Kozievitch et al. (2003), baseados em resultados experimentais, a adição de pó de borracha do pneu ao cimento pode proporcionar concretos mais leves e com melhores propriedades de resistência ao impacto.

A necessidade de combustível no processo de fabricação do cimento é uma constante, pois são utilizados fornos cujas temperaturas chegam até 1.300° C. Conforme dados obtidos por Morais (2003), que analisou a viabilidade da aplicação de pneus como combustível nas indústrias cimenteiras, pode-se obter uma economia de até 20% de gasto com combustível nos fornos. Ele também analisou a utilização de lascas de borracha de pneu na composição do asfalto; apesar de haver algumas vias com 'asfalto de pneu', essa opção ainda é pouco difundida, principalmente pelo fato de representar um custo adicional. Conclui o autor que, atualmente, a utilização do pneu como combustível ainda é a melhor alternativa para os pneus descartados, em parte devido ao fator econômico associado à facilidade de utilização.

Devido à natureza de sua estrutura interna, a borracha não é boa condutora de eletricidade, favorecendo sua utilização freqüente como isolante. Em geral, os materiais poliméricos têm baixo peso específico e apresentam temperatura de decomposição relativamente baixa.

Os materiais compósitos ou conjugados são combinações de dois ou mais materiais. A maioria destes materiais consiste de um elemento de reforço envolvido por uma matriz, constituída de resina colante (Aktusu, e Sato; 1988)

Na presente pesquisa, utilizou-se cimento como resina colante. Os componentes misturados, borracha e concreto, não se dissolvem um no outro e podem ser identificados, fisicamente, por uma interface bem definida entre os mesmos, não havendo modificação das propriedades individuais.

Seguindo as recomendações da *Norma de Desempenho Térmico de Edificações* (<http://www.ufsc>, 2003), a metodologia adotada na presente pesquisa baseou-se no "Método da Placa Quente Protegida", indicada para determinar a resistência e a condutividade térmicas de materiais sólidos ou granulares, compactados ou não, nas faixas onde a resistência térmica (R) se encontra acima de 0,02 m²K/W e a condutividade térmica abaixo de 2 W/m K.

Dentre os materiais para os quais o "Método da Placa Quente Protegida" pode ser aplicado, destacam-se os materiais homogêneos e isotrópicos, através dos quais o calor é transferido somente pelo sólido, tais como plásticos densos, borrachas e vidros. (<http://www.ufsc>, 2003)

A partir deste estudo pretende-se verificar a variação da condutividade térmica do concreto em função da substituição de diferentes porcentagens de brita por lascas de borracha.

2. METODOLOGIA

Foram construídos três reservatórios retangulares com tampa, um feito de concreto comum (padrão) e outros dois contendo a borracha (lascas) em substituição a uma porcentagem de brita. Optamos pela confecção das paredes e das tampas com espessura de 5 cm pela viabilização do manuseio e favorecimento da obtenção de dados para a análise da condutividade térmica de cada termoacumulador. Portanto, adotamos a espessura de 5 cm, comprimento de 35 cm, largura de 30 cm e 22 cm de altura para a confecção dos três reservatórios.

Em cada mistura foram estipuladas proporções para o cimento areia, borracha, brita, água e dosados em mililitros, sendo pesados posteriormente. Os reservatórios e suas tampas foram fabricados com traço de 1: 2: 4, respectivamente, para o cimento, areia, brita com e sem borracha. Os reservatórios foram nomeados de forma a facilitar a identificação das características de construção de cada um. O BP contém concreto comum na proporção acima citada; o B37,5% contém 62,5% de brita e 37,5% de borracha e o B50 contém 50% da brita substituída por borracha; a brita utilizada em todas as misturas foi a de 19mm. Nas tabelas (1) e (2) vêem-se os dados relativos aos reservatórios e respectivas tampas.

Tabela 1. Dados da confecção dos reservatórios.

Termo.	Cimento	Areia	Borracha	Brita	Água	Borracha %
BP	3L = 4,47kg	6L = 6,34kg	-	12L = 17kg	3L	-
B37,5	3L = 4,47kg	6L = 6,34kg	4,5L = 1,78kg	7,5L = 10,63kg	3L	37,5
B50	3L = 4,47kg	6L = 6,34kg	6L = 6,4kg	6L = 8,5kg	3L	50

Tabela 2. Dados da confecção das tampas dos reservatórios.

Tampa	Cimento	Areia	Borracha	Brita	Água	Borracha%
BP	1L = 1,12kg	1L = 3,17kg	-	4 L = 5,67kg	0,75L	-
B37,5	1L = 1,12kg	1L = 3,17kg	1,5L = 0,6kg	2,5 L = 3,5kg	0,75L	37,5
B50	1L = 1,12kg	1L = 3,17kg	2L = 0,8kg	2L = 2,83kg	0,75L	50

No que diz respeito aos critérios de preparação dos termoacumuladores, foram colocados em uma betoneira cimento, areia, brita e borracha até obter-se uma boa homogeneização da mistura. Em seguida a água foi acrescentada aos poucos, até obtermos o composto final para ser adicionado em formas de madeira e desformados dois dias após. Os temoacumuladores foram submetidos à cura por um período de 7 dias submersos em uma piscina com água. Na figura (1) são mostrados a fôrma, o reservatório com sua tampa e um corpo de prova.



Figura 1: Fôrma, termoacumulador e corpo de prova contendo borracha

Nos experimentos foram utilizados: uma fonte de radiação térmica composta por 24 lâmpadas de 200W Fig. (2) e uma placa de aquisição de dados ligada a um microcomputador (figura 03). Três termopares tipo K Fig. (4), ligados a uma placa de compensação de junta fria, foram fixados em cada termoacumulador, de acordo com a seguinte disposição: T_1 (superfície superior da tampa fixado superficialmente e com incidência de calor); T_2 (superfície inferior da tampa fixado superficialmente); T_3 (termopar medindo a temperatura ambiente). Na Figura (5) pode-se observar o sistema montado para início da experiência. As leituras das temperaturas foram realizadas em intervalos de dois minutos e para cada termoacumulador foram realizados três testes. Os dados foram colocados em uma tabela e em seguida foram produzidos gráficos utilizando-se o programa Origin 6.0.



Figura 2. Fonte de radiação térmica



Figura 3. Placa de aquisição de dados ligada ao computador



Figura 4. Termoacumuladores com termopares

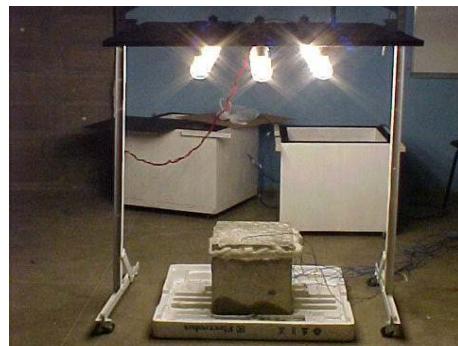


Figura 5. Sistema montado.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

No gráfico da Fig. (6), observou-se a menor diferença entre as temperaturas das faces superior e inferior da tampa do termoacumulador padrão. Esse comportamento é característico do concreto comum e mostra a grande absorção de calor pelo material do bloco.

Enquanto a temperatura máxima na superfície superior atingiu 52,2°C, a da superfície inferior foi de 49,3°C, o que equivale a uma diferença de 2,9°C. A temperatura ambiente ficou em torno de 43,0°C. Foram detectadas flutuações na temperatura da água contida em cada termoacumulador devido à presença de correntes convectivas.

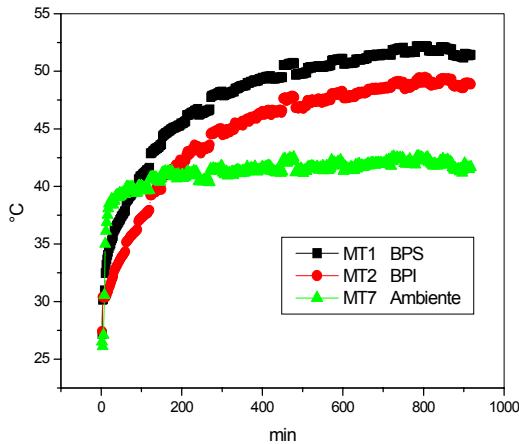


Figura 6. Variação de temperatura em função do tempo na tampa do termoacumulador BP

No gráfico da Fig. (7), observou-se uma maior diferença entre as temperaturas das faces superior e inferior na tampa do termoacumulador B50. As lascas de borracha contidas no interior do bloco condicionam para uma maior diferença entre as temperaturas em comparação com o BP devido à presença do ar existente entre as lascas de borracha que dificultam a condução do calor para a face inferior.

Enquanto a temperatura máxima na superfície superior atingiu 58,5°C, a superfície inferior obteve 53,2°C, o que equivale a uma diferença de 5,3°C.

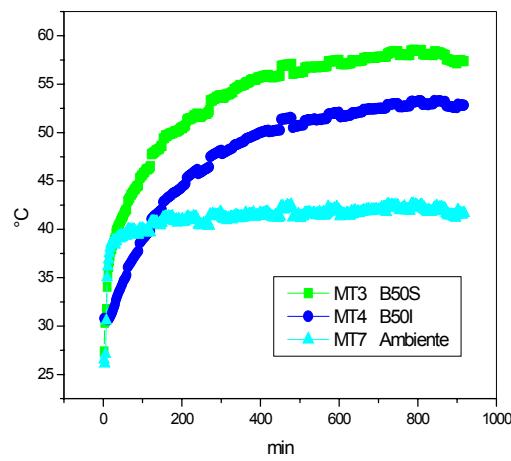


Figura 7. Variação de temperatura em função do tempo na tampa do termoacumulador B50

No gráfico da Fig. (8), observou-se uma diferença entre as temperaturas das faces superior e inferior na tampa do termoacumulador B37,5, menor em relação ao B50 e maior do que o BP. Uma maior quantidade de brita em relação ao B50 proporcionou uma maior condução do calor como constatado no BP.

Enquanto a temperatura máxima na superfície superior atingiu 58,2°C, a superfície inferior obteve 53,8°C, o que equivale a uma diferença de 4,4°C.

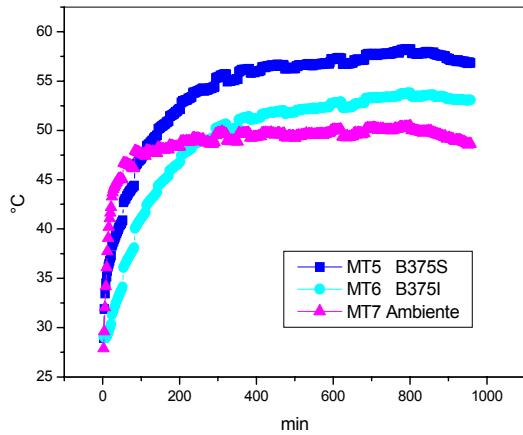


Figura 8. Variação de temperatura em função do tempo na tampa do termoacumulador B37,5

No gráfico da Fig. (9), temos a representação das temperaturas superiores das tampas dos termoacumuladores e podemos observar que a tampa B50, atingiu a maior temperatura seguindo a B37,5 e a BP.

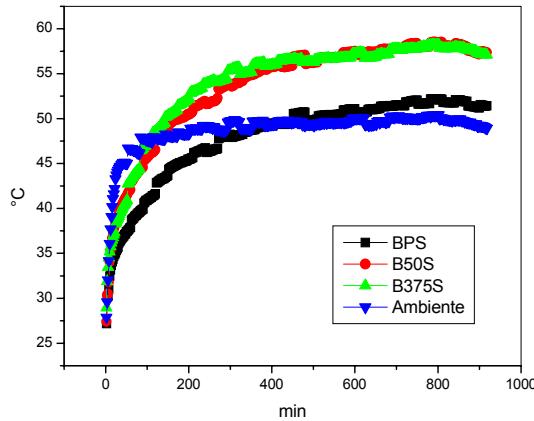


Figura 9. Variação de temperatura em função do tempo nas superfícies superiores de todas tampas

No gráfico da Fig. (10), temos a representação das temperaturas inferiores das tampas dos termoacumuladores e podemos observar que a tampa B37,5 atingiu a maior temperatura seguindo a B50 e a BP.

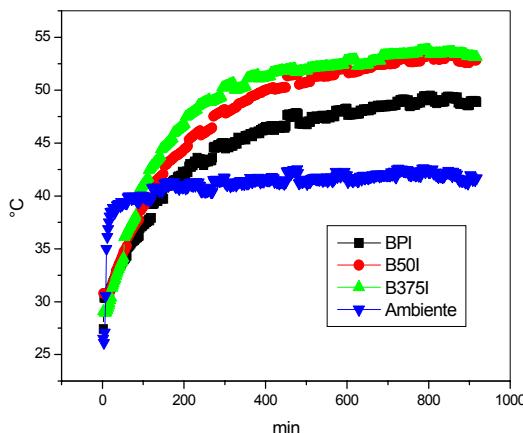


Figura 10. Variação de temperatura em função do tempo nas superfícies inferiores de todas as tampas

Analizando os resultados obtidos em relação às diferenças de temperaturas entre as superfícies superiores do BP e do B50, observamos um aumento 6,3 vezes maior do B50 em relação àquele. E em relação às superfícies inferiores, foi observado um aumento 3,9 vezes maior do B50 em relação àquele.

Observando o comportamento térmico do BP e do B50, constatamos um aumento de 12,06 % a mais da temperatura na superfície superior do B50 em relação ao bloco padrão. E na superfície inferior do B50, foi constatado um aumento da temperatura 7,9 % maior que o bloco padrão.

Analizando os resultados obtidos em relação às diferenças de temperaturas entre as superfícies superiores do BP e do B37,5, observamos um aumento 6 vezes maior do B37,5 em relação àquele. E em relação às superfícies inferiores, foi observado um aumento 4,5 vezes maior do B37,5 em relação àquele.

Observando o comportamento térmico do BP e do B37,5, constatamos um aumento de 11,5 % a mais da temperatura na superfície superior do B37,5 em relação ao bloco padrão. E na superfície inferior do B37,5, foi constatado um aumento da temperatura 9,1 % que o bloco padrão.

3.1. Propriedades mecânicas dos termoacumuladores

Foi verificado que a principal propriedade mecânica a ser observada era a resistência à compressão e o valor mínimo admissível de acordo com a norma NBR 7171/1983, para alvenaria de vedação é de 1,5MPa. Os ensaios foram realizados com os corpos de prova BP, BR50 e BR37,5 no Laboratório de Concreto da UFRN, utilizando-se uma máquina de ensaio de compressão. Na Tab. (3) são mostrados os resultados dos ensaios realizados com sete e vinte e oito dias após a moldagem dos corpos de prova.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de compressão

TIPO	CARGA (Kgf)	RESIST. (MPa)	CARGA (Kgf)	RESIST. (MPa)
DIAS	07	07	28	28
BP	34.700	19,64	43.500	24,62
B50	3.600	2,03	4.000	2,26
B37,5	2.800	1,58	3.300	1,86

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos dados coletados, pôde-se concluir que:

- a metodologia utilizada na pesquisa mostrou-se adequada às análises dos desempenhos térmicos dos reservatórios de termoacumulação;
- as temperaturas das faces superior e inferior do termoacumulador B50 foram respectivamente 12,06% e 7,9% maiores que as respectivas faces do termoacumulador BP;
- as temperaturas das faces superior e inferior do termoacumulador B50 foram respectivamente 11,5% e 9,1% maiores que as respectivas faces do termoacumulador BP;
- em relação aos termoacumuladores BP e B50, o B37,5 foi o que apresentou a maior temperatura na face inferior, significando que o mesmo permitiu uma maior transferência de calor entre o meio e o interior do reservatório;
- foram consideradas proporções de 62,5% de brita e 37,5% de agregado (lascas de borracha) para o B37,5, enquanto que para o B50 consideraram-se proporções de 50% de brita e 50 % de agregado; assim, é interessante a análise de outras proporções do material como agregado;
- a principal vantagem do reaproveitamento de pneus na forma de agregado para a construção civil deve-se ao fator ambiental, tendo em vista que tal aplicação permite reduzir o impacto causado pelo descarte desse material no meio.

5. AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao apoio obtido junto aos seguintes fomentadores da pesquisa:

Direção do Núcleo Tecnológico Industrial – NTI da UFRN;

Direção do Centro de Tecnologia – CT da UFRN ;

Equipe CT ENERG;

Francisco de Assis Braz – Técnico do Laboratório de Concreto – UFRN;

Luciano André Cruz Bezerra – Engenheiro Civil;

Empresa TYRESOLES Potiguar.



A realização da pesquisa descrita neste trabalho só se tornou possível graças ao financiamento do **CNPq**, através do **Projeto CT ENERG** – Processo N°552372/01-3.

6. REFERÊNCIAS

Aktusu, M. e Sato, N. M. N., “Propriedades termofísicas de materiais e componentes de construção”, *Tecnologia de Edificações*, Ed. Pini, SP, 1988.

Kozievitch, V. F. J., Pinto, C.A., Hamassaki, L., Büchler, P. M., Valenzuela-Diaz, F. R. (2003). Comportamento mecânico de compósitos cimento Portland-borracha-bentonitas brasileiras”, *Escola politécnica da Universidade de São Paulo*, 1999.

Morais, C. M. P., “Reciclagem de pneus: viabilidade da aplicação de alternativas para utilização de pneus em grande escala” (Agência USP de Notícias - 2003), *Dissertação de mestrado, USP, 2003*.

Segre, N. C., “Reutilização de Borracha de Pneus Usados como Adição em Pasta de Cimento”, *Tese de Doutorado, IQ/UNICAMP, 1999*.

Salini, R. B., “Utilização de borracha reciclada de pneus em misturas asfálticas”, *Tese de mestrado, Santa Catarina, 1998*.

<<http://www.tropeiros149.hpg.ig.com.br/reciclagem/borracha.htm>>. Acesso em 15 julho 2003.

<<http://www.ufsc.br/labeee/conforto/textos/termica/t4-termica/texto4-0299.html>>. Acesso em 16 julho 2003.

<<http://www.planeta.terra.com.br/negocios/makipor/concreto.htm>>. Acesso em: 25 junho 2003.

<<http://www.usp.br/reciclagem.pcc/pneus.htm>>. Acesso em 10 julho 2003.

<http://www.abceram.org.br/asp/47cbc_artigo.asp?cod=1701> Acesso em 25 junho 2003.

THERMOACUMULATOR OF PORTLAND CEMENT WITH AGREGGATE OF RE-USED LATEX OF TIRE

The re-use of the latex of tires constitutes one of the great challenges for the engineering in XXI' Century. Nowadays, it has been used as an energy source for cement and steel production by the industry. Researches all around the world already have been demonstrate that the processed waste of tires can be used as an aggregate of asphalt, and resulting in the improvement of the quality of the pavement. In the present work, we had studied the effect of the use of slices of tire as an aggregate of cement that was used to the construction of a tank for water storage. The objective was to increasing the heat transfer tax from the ambient – like that coming from the direct solar radiation – to the water inside the tank, and consequently, to increasing its temperature. To doing so, we think that it will be possible to reduce the energy necessary to warm the water for home uses, like a thermoacumulator.

Two water storage tanks had been built; one of them was made using the mortar (Portland cement with aggregate of latex from used tires), while the other (considered as a standard) was made only with Portland cement. The two tanks were instrumented with T – type thermocouples (copper-constantan), that were connected to a data acquisition system, allowing the temperature data registration by a computer. The tanks were filled with water and submitted, at the same time, to the thermal radiation from an electric source. The results of the experiments were used to the construction of tables and graphics, allowing the comparative analysis of the thermal performance of the two kinds of materials. We conclude that the re-use of the latex of the tires as an aggregate material of Portland cement is adequate to improve the heat transfer tax to the water stored inside the thermoacumulator.

Key-words: latex, re-used tires, aggregate, Portland cement, thermoacumulator.