

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS INCORPORADOS COM RESÍDUOS DE PNEUS SUBMETIDOS À ELEVADA TEMPERATURA

Ana Carolina MARQUES *

Jorge Luís AKASAKI **

Cesar Fabiano FIORITI ***

Resumo: Pouco se sabe sobre o comportamento do concreto incorporado de borracha de pneus quando este é submetido a elevadas temperaturas. Apesar do aproveitamento deste material residual no concreto ter grande importância em relação à questão ambiental, a forma como este composto reage quando aquecido é de fundamental interesse para seu uso na construção civil. Dessa maneira, no trabalho foram realizados ensaios de resistência à compressão, onde foram utilizados corpos de prova com e sem incorporação de borracha de pneus aquecidos à temperatura de 600°C. Pode-se notar pelos resultados que após o aquecimento do concreto ocorreu a perda de resistência à compressão tanto nos corpos de prova confeccionados com concreto convencional quanto nos que possuíam borracha de pneus. E a partir das curvas geradas pelas leituras das medidas dos termopares notou-se que existe uma combinação ótima de borracha para que seja obtido um melhor isolamento do concreto.

Palavra-chave: concreto, borracha de pneus, elevada temperatura.

Abstract: Little is known about the behavior of concrete embedded rubber tire when it is subjected to elevated temperatures. Despite the use of this waste material in concrete have great importance in relation to environmental issues, how this composite reacts when heated is of fundamental interest for

* Professora Doutora na Universidade de São Paulo – USP, Departamento de Estruturas. E-mail: cmarquesana@yahoo.com.br

** Professor Doutor na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP. E-mail: akasaki@dec.feis.unesp.br

*** Professor Doutor na Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP. E-mail: fioriti@fct.unesp.br

its use in construction. Thus, work tests were performed compressive strength where there were used test specimens with and without incorporation of crumb rubber heated to a temperature of 600°C. It can be noted from the results that after heating the concrete was the loss of compressive strength in both specimens made with conventional concrete as those that showed tires rubber. And from the curves generated by the readings of the measurements of the thermocouples was noted that there is an optimum combination of rubber is obtained a better insulation of the concrete.

Keywords: concrete, tires rubber, high temperature.

1. Introdução

Sabe-se que o concreto é um dos materiais mais usados nas obras de engenharia e se encontra em constante estudo. Sua grande aplicação se deve à sua durabilidade, facilidade de assumir formas diferentes e versatilidade, sendo por isso utilizado de diversas formas, seja em peças com função estrutural ou não.

A borracha de pneus, proveniente de pneus inservíveis ou do processo mecânico de recauchutagem, é um dos resíduos produzidos pela indústria que se encontra disposto muitas vezes de modo inadequado no meio ambiente. Dessa maneira, o uso da borracha de pneus em compósitos de cimentícios pode ser uma alternativa limpa de descarte para este material potencialmente poluidor.

Percebe-se que vários estudos sobre o comportamento do concreto com borracha de pneus vêm sendo realizados. Onde os primeiros trabalhos (realizados por Topçu (1995), Eldin e Senoucci (1993), Toutanji (1996), entre outros) deram maior enfoque às propriedades mecânicas, dentre elas, a resistência mecânica à compressão. Sendo constatado, em todos os trabalhos, que o concreto incorporado de borracha de pneus possui perda na resistência à compressão e que esta perda aumenta de acordo com uma maior substituição dos agregados pela borracha.

Além dos ensaios para determinação das propriedades mecânicas, outros estudos têm sido feitos para avaliar a durabilidade dos materiais cimentícios com borracha de pneus. Um exemplo disso é o estudo realizado por Lima *et al.* (2000) sobre a condutividade térmica e o isolamento sonoro de paredes com argamassa com borracha de pneus. De acordo com seus ensaios, a argamassa com borracha de pneus apresentou valores de

condutividade térmica e isolamento dentro dos padrões permitido pela norma americana, indicando sua adequabilidade de aplicação para esta finalidade.

Uma dúvida que restringe a aplicação de compósitos cimentícios com borracha de pneus em edificações é com relação ao seu comportamento quando aquecido. Pois o concreto é um material heterogêneo, macroscopicamente bifásico composto por partículas de agregados dispersos em uma matriz de cimento. Quando este é exposto a altas temperaturas, sua heterogeneidade é realçada, devido à incompatibilidade de deformações entre a pasta e o agregado (TAYLOR *apud* NINCE *et al.*, 2003).

De acordo com Luccione *et al.* (2003), podem-se distinguir os seguintes efeitos quando a pasta de cimento é exposta ao aumento de temperatura: a expulsão da água livre (100°C), o começo da desidratação do silicato de cálcio hidratado (180°C), a decomposição do hidróxido de cálcio (500°C) e do silicato de cálcio hidratado (que começa por volta de 700°C). E conforme Georgali e Tsakiridis (2005), quando a temperatura se aproxima de 250°C, começa a perda da água de hidratação.

O aquecimento da água presente no concreto cria gradientes de pressões associados à vaporização e ao transporte de grandes quantidades de água, influenciando no processo de *spalling* do concreto (KALIFA *et al. apud* COSTA *et al.*, 2002). A partir disto, conclui-se que a relação água/cimento é um fator que influencia o comportamento do concreto aquecido.

As propriedades físicas e mecânicas do concreto submetido a elevadas temperaturas são influenciadas por uma série de fatores. Dentre estes podem ser citados o tipo de agregado utilizado, regime de aquecimento e resfriamento, idade do concreto, adições, entre outros.

Estudos realizados por Hernández-Olivares e Barluenga (2004), sobre o comportamento do concreto de elevado desempenho com borracha de pneus em relação ao fogo, verificaram o desempenho em relação ao *spalling*. Os autores concluíram que a adição da borracha diminui a forma frágil de ruptura do concreto de alta resistência, assim como a ocorrência do *spalling*. Ensaios termogravimétricos também indicaram que o aumento da quantidade de borracha, diminui a temperatura alcançada entre a parte exposta ao aquecimento e a parte exposta à temperatura ambiente. Dessa forma, pode-se obter maior segurança em elementos estruturais contra o fogo.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a resistência à compressão de concretos incorporados de borracha de pneus quando aquecidos a uma temperatura de 600°C. Sendo que também foi realizada a comparação entre os resultados dos ensaios em corpos de prova de idade avançada (superior a 130 dias), antes e depois do aquecimento.

2. Materiais e Métodos

2.1. Materiais

A amostra de borracha de pneus utilizada foi coletada em uma empresa de recauchutagem de pneus de caminhões, ou seja, todo o material utilizado foi separado com o auxílio de um agitador de peneiras mecânico. Mesmo assim, o material separado para o trabalho apresentou ainda, de forma reduzida, uma quantidade de aço e nylon. Dessa forma, foi realizada uma triagem manual no material para a retirada dessas impurezas. A fração escolhida foi a borracha que passou na peneira de abertura de malha 1,19mm (granulometria próxima à da areia que foi substituída), que representou em média 60% do volume total do material, e que resultou em uma fração de material mais uniforme com predominância no tamanho máximo de 3mm.

Inicialmente foram determinados a massa específica absoluta e o módulo de finura, respectivamente com valores de 1,09 g/cm³ e 2,23. Na Figura 1 é apresentada a borracha de pneus antes e depois da separação pelo processo de peneiramento.

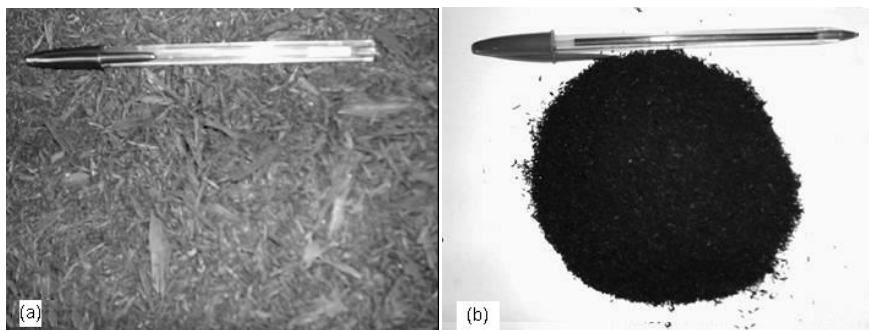


Figura 1 – a) Borracha de pneus no estado natural; b) Borracha de pneus após peneiramento.

O agregado miúdo utilizado possuía massa específica absoluta de $2,64 \text{ g/cm}^3$ e módulo de finura de 2,40, com sua distribuição granulométrica se enquadrando na faixa 2, que representa uma areia fina. O agregado graúdo utilizado foi a brita basáltica com dimensão nominal $19\text{mm} - 9,5\text{mm}$, com massa específica absoluta de $2,84 \text{ g/cm}^3$ e módulo de finura de 6,99. Foi utilizado o cimento CP V-ARI, com massa específica absoluta de $3,08 \text{ g/m}^3$.

Os traços dos concretos foram feitos seguindo as curvas de dosagem de Helene e Terzian (1992). Para todos os traços foi mantido constante o abatimento do tronco de cone em $7 \pm 1\text{cm}$ e feita substituição de 5% em massa da areia por borracha de pneus. A escolha do percentual de substituição da borracha foi baseada na bibliografia consultada, indicando que esta é a melhor proporção de substituição nos compósitos cimentícios. A composição dos concretos utilizados pode ser vista nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Traços utilizados como referência para a confecção do diagrama de dosagem.

Materiais	Consumo (kg/m^3)		
	Traço 1: 3, 5	Traço 1: 5, 0	Traço 1: 6, 5
Cimento	503,42	378,27	301,06
Areia	699,75	824,63	897,16
Brita 1	1062,26	1066,72	1059,73
Água	186,26	177,79	177,63

Tabela 2 – Traços com borracha de pneus utilizados para a confecção do diagrama de dosagem.

Materiais	Consumo (kg/m ³)		
	Traço 1: 3, 5	Traço 1: 5, 0	Traço 1: 6, 5
Cimento	474,28	358,28	286,1
Areia	626,29	742,00	809,96
Brita 1	1000,73	1010,35	1007,09
Borracha	32,96	39,05	42,63
Água	194,46	179,14	174,52

Foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido. No estado fresco foi determinado o abatimento, teor de ar incorporado e a massa específica. Para o ensaio no estado endurecido (resistência à compressão), foram moldados corpos de prova de 10cm x20cm (cilíndricos), com adensamento realizado em mesa vibratória. O processo de cura dos corpos de prova se deu através da câmara úmida até a data de realização dos ensaios.

Os ensaios feitos nos corpos de prova aquecidos foram realizados em idades avançadas, visto que a probabilidade de ocorrência de qualquer incidente envolvendo um incêndio é maior. Além disso, a disponibilidade do equipamento tornou possível apenas o ensaio (em idade avançada) para este período (idades acima de 130 dias).

2.2. Metodologia

Ainda no estado fresco, e de maneira preliminar, foram realizados ensaios para a determinação do teor de ar incorporado e determinação de massa específica. O teor de ar incorporado foi feito de acordo com a NBRNM 47 (ABNT, 2002). Utilizando o mesmo recipiente para a determinação do teor de ar incorporado, que possui massa e volume conhecido, foi calculada a massa específica do concreto fresco. A determinação da resistência à compressão simples foi efetuada de acordo com a NBR 5739 da (ABNT, 1994). O ensaio foi realizado em 4 corpos de

prova. A resistência final foi obtida através da média aritmética dos resultados.

O aquecimento dos corpos de prova foi baseado na curva padrão “temperatura-tempo” da ISO-834 (ISO, 1999), uma vez que é este o método convencionalmente aceito pelo meio científico para este tipo de ensaio. Esta padronização permite a comparação entre os resultados obtidos por outros centros de pesquisa. A curva de aquecimento pode ser vista na Figura 2. Para garantir a segurança de uso do forno, os corpos de prova foram mantidos em estufa por 24 horas antes do ensaio, para que fosse retirado o excesso de umidade. Depois de retirados da estufa, os corpos de prova foram aquecidos em dois patamares: o primeiro de 105°C/min, até a temperatura de 538°C e o segundo de 33°C/min até a temperatura de 600°C.

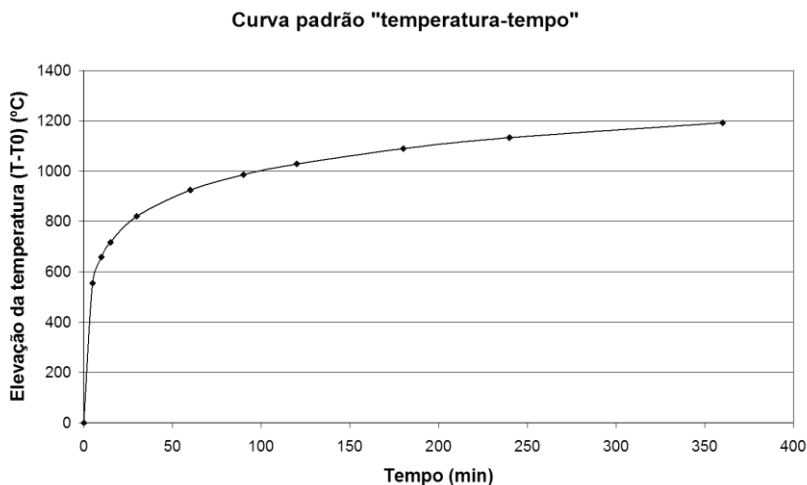


Figura 2 – Curva Padrão ISO-834 de temperatura x tempo. (Fonte: ISO, 1999)

Como o forno de maior capacidade não apresentava saídas especiais para os fios dos termopares, foi realizado primeiramente a determinação da curva de temperatura no forno tubular. Assim, um termopar mede a temperatura interna e o outro a da parte lateral do corpo de prova. Foi estabelecido que os ensaios em concreto submetidos a elevadas temperaturas seriam realizados após o aquecimento do seu interior a 600°C. O uso do forno tubular permitiu a monitoração e o controle da temperatura,

sendo assim determinado o tempo necessário para que a temperatura no interior do corpo de prova fosse a desejada.

O equipamento forno tubular apresenta um orifício no qual foi introduzido um termopar para o controle da temperatura interna nos corpos de prova. Também foi colocado um termopar em contato com sua superfície para controle da temperatura externa. O forno tubular com detalhe do posicionamento dos termopares no corpo de prova pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3 – Detalhe de corpo de prova monitorado pelos termopares.

Após a determinação do tempo necessário de aquecimento, 6 corpos de prova foram colocados em outro forno com maior capacidade, com controle de temperatura e de taxa de elevação. Na Figura 4 pode ser visualizado o forno com maior capacidade.



Figura 4 – Forno utilizado de maior capacidade e com controle de temperatura, utilizado para o aquecimento dos corpos de prova.

Como a relação água/cimento e a resistência interferem nos resultados obtidos através do aquecimento do concreto, foi elaborado um diagrama de dosagem para que pudessem ser feitas comparações entre os traços contendo borracha e os utilizados como referência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos através dos ensaios de teor de ar incorporado e massa específica. Os resultados obtidos através do ensaio no concreto endurecido estão dispostos nas curvas de dosagens, nas quais são mostradas relações entre resistência à compressão, relação água/cimento e consumo de cimento.

Tabela 3 – Resultados de teor de ar incorporado e massa específica dos concretos.

Traço		Teor de ar incorporado (%)	Massa específica (kg/m ³)
Referência	1: 3, 5	0,53	2489,07
	1: 5, 0	1,80	2469,87
	1: 6, 5	1,80	2440,32
Borracha	1: 3, 5	3,10	2367,95
	1: 5, 0	5,90	2283,75
	1: 6, 5	6,40	2257,16

Os resultados dispostos na Tabela 3 mostram que o uso da borracha de pneus em concretos aumenta a quantidade de ar incorporado e diminui a massa específica da mistura. Foi observado, através dos resultados obtidos, que concretos com borracha podem apresentar massa específica 10% mais baixa que a do concreto de referência. Este fato pode ser influenciado também pelo maior teor de ar incorporado em concretos com borracha.

Mesmo sendo observada menor massa específica dos concretos com borracha não pode ser afirmado qual a influência da massa específica da borracha nesta propriedade, visto que, as misturas contendo borracha apresentam maior teor de ar incorporado, o que também interfere nos resultados referentes a esta propriedade.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados tanto em corpos de prova submetidos ao aquecimento quanto em corpos de prova não aquecidos. Os resultados de resistência à compressão e as curvas de dosagem podem ser visualizadas nas Figuras 5, 6 e 7.

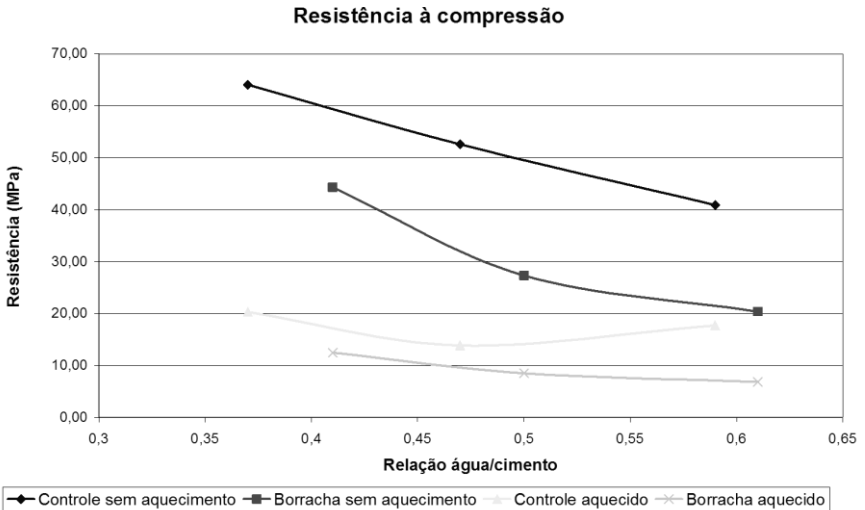


Figura 5 – Resultados de resistência à compressão dos concretos com e sem borracha submetidos ao aquecimento.

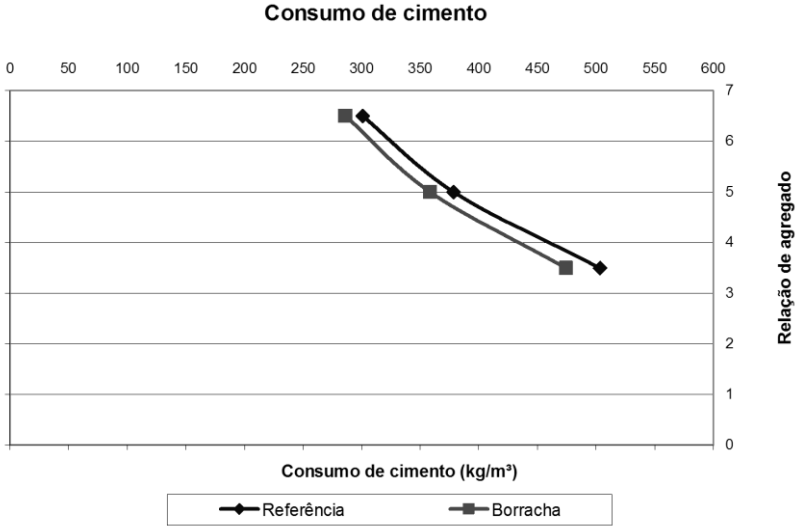


Figura 6 – Consumo de cimento x relação de agregado, de dosagens dos concretos com e sem borracha submetidos ao aquecimento.

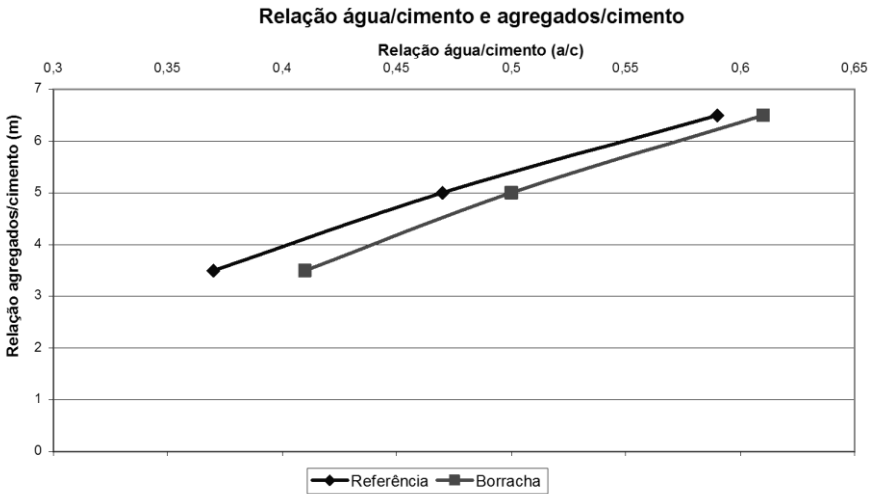


Figura 7 – Relação água/cimento e agregados/cimento x relação agregados/cimento, de dosagens dos concretos com e sem borracha submetidos ao aquecimento.

Pelas Figuras 5, 6 e 7, observa-se que a substituição de parte do agregado miúdo por borracha de pneus resulta em queda na resistência à compressão do concreto. Nota-se também, que para manter a trabalhabilidade constante, é necessária maior relação água/cimento dos concretos com borracha. A perda de resistência à compressão, já era um resultado esperado, visto que o mesmo foi observado pela literatura consultada (TOPÇU, 1995; ELDIN e SENOUCI, 1993; TOUTANJI, 1996). Também pôde ser observado pela literatura que a granulometria, relação água/cimento e quantidade de borracha adicionada, interferem na trabalhabilidade dos concretos com borracha de pneus. Desta maneira, pode-se afirmar que para o concreto com borracha apresentar resultados de resistência semelhantes aos do concreto de referência, é necessário um maior consumo de cimento. E a substituição de parte do agregado miúdo por borracha de pneus resulta em perda de aproximadamente 44% da resistência em relação ao concreto sem borracha.

A comparação entre os resultados de aquecimento de concretos, com mesma relação água/cimento, resulta na determinação de um decréscimo de aproximadamente 66% da resistência inicial do concreto de referência. Já para o concreto com borracha, este é em torno de 68%. O concreto com e sem borracha após o aquecimento apresenta diferença de 45% entre as misturas.

A comparação feita entre concretos com e sem borracha de pneus de mesma resistência inicial mostra que, após o aquecimento, a mistura contendo borracha apresenta resistência aproximadamente 70% inferior à inicial. Os resultados do concreto de referência indicaram que a resistência final é em torno de 64% menor que a inicial.

Além da resistência à compressão, foi feito o monitoramento dos corpos de prova, indicando o aumento da temperatura tanto da parte central quanto da superfície. As leituras obtidas estão dispostas nas Figuras 8 e 9. Na Figura 8 estão dispostas as curvas obtidas pelo aquecimento dos corpos de prova usados como referência, onde os resultados obtidos nos termopares na face do corpo de prova estão indicados como termopar 2 e os do interior como termopar 1. Na Figura 9 estão as curvas obtidas para os corpos de prova com borracha de pneus.

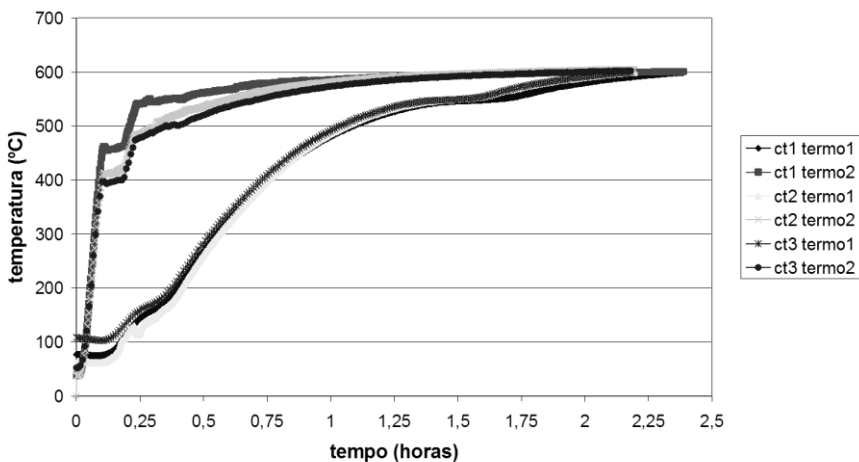


Figura 8 – Curvas de temperatura-tempo determinadas para os corpos de prova usados como referência.

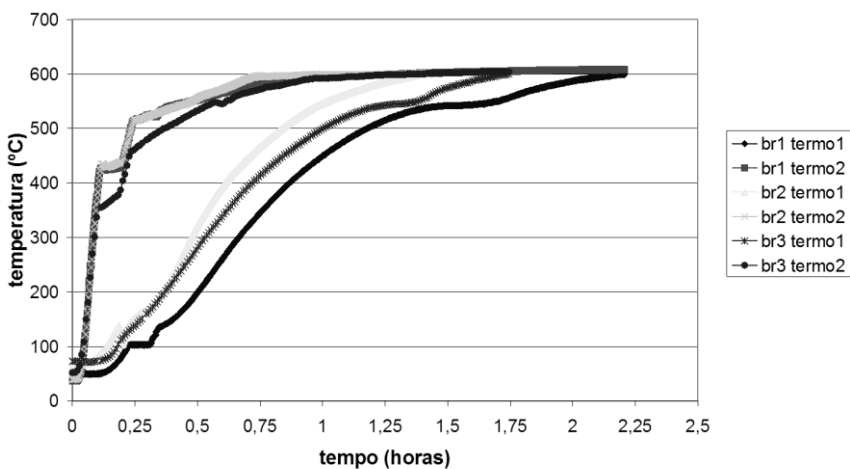


Figura 9 – Curvas de temperatura-tempo determinadas para os corpos de prova com borracha de pneu.

As denominações na Figura 6 de “ct1”, “ct2” e “ct3” são referentes, respectivamente, às proporções entre cimento e agregado de 1: 3, 5, 1: 6, 5 e 1: 5, 0 para o concreto de referência. Enquanto as denominações na Figura 7 de “br1”, “br2” e “br3” são referentes aos traços com proporções, respectivamente, de 1: 3, 5, 1: 5, 0 e 1: 6, 5 para o concreto com borracha de pneus.

Os termopares foram colocados tanto na parte externa quanto na parte interna, para assegurar que a temperatura interna do corpo de prova fosse de 600°C.

Observou-se durante o aquecimento do concreto que, em temperaturas próximas a 130°C, os corpos de prova que continham borracha liberaram gases com odores característicos de sua queima. Após o aquecimento a 600°C, notou-se que ocorreu a grafitação da borracha, ou seja, alteração em sua estrutura. Esta alteração pôde ser vista a olho nu.

Percebeu-se através da Figura 9, que os diferentes tipos de traços não interferiram no tempo decorrido para que a temperatura interna do corpo de prova fosse atingida. Nos traços contendo borracha de pneus, o comportamento foi notadamente diferente. Pode-se observar que para o traço “br1”, que continha menos agregado e, portanto, menos quantidade de borracha inserida, que este apresentou melhor isolamento térmico. Isto provavelmente ocorreu porque o tempo decorrido para que a temperatura de 600°C chegasse a seu interior, é maior que o das outras misturas. Isto mostrou que existe uma quantidade ótima de borracha que deve ser inserida para que um melhor desempenho seja obtido dos concretos adicionados de borracha de pneus. Esta análise também pode ser dita quando é feita a comparação entre as curvas das Figuras 8 e 9, onde pode ser observado que o traço “br1” também apresentou melhor isolamento da temperatura.

O melhor comportamento de isolamento para o traço “br3” em relação ao “br2” pode ser justificado pela maior quantidade de ar incorporado neste concreto. Nas curvas referentes ao concreto de referência isto não foi observado, visto que, a quantidade de ar incorporada nas misturas permaneceram próximas.

4. CONCLUSÕES

Os valores de resistência à compressão apresentaram valores mais baixos após a incorporação da borracha de pneus. Comportamento este esperado, pois foi de acordo com o encontrado na literatura. Isto também

ocorreu porque a borracha é um material que permite maiores deformações, atuando como vazios dentro do compósito.

Através dos ensaios realizados no estado fresco pôde ser observado que o uso da borracha de pneus em concreto causa redução na massa específica e maior incorporação de ar no concreto. Também foi notado que as misturas contendo borracha apresentam menor trabalhabilidade. Fato observado através das curvas de dosagem, pois para que fosse mantida a trabalhabilidade dos concretos com borracha foi preciso aumentar a relação água/cimento da mistura.

No estado endurecido foi estudada a resistência à compressão antes e após o aquecimento a 600°C. O aquecimento dos concretos com e sem borracha de pneus resultou em queda na resistência à compressão. A perda de resistência entre o concreto de referência e o concreto com borracha foi mantida após o aquecimento, pois estas foram da ordem de 44%.

As perdas na resistência mecânica dos concretos são atribuídas às diferenças de deformações sofridas pela borracha quando comparadas ao agregado natural. O maior teor de ar incorporado nas misturas contendo borracha também pode ser considerado como fator que influencia na perda de resistência das propriedades mecânicas.

O uso de concreto com borracha de pneus na construção civil, através dos resultados obtidos, indica que seu uso com função estrutural deve ser evitado, embora seja possível a confecção de concretos com resistência de 15 MPa e 20 MPa. Porém, devido à perda de resistência após a incorporação da borracha, para que a resistência necessária fosse obtida ocorreu o aumento do consumo de cimento. Entretanto, seu uso em materiais pré-moldados como blocos de alvenaria com ou sem função estrutural também é interessante. Para tanto, é imprescindível que sejam feitos ensaios quanto à toxicidade dos gases liberados quando estes elementos são submetidos a temperaturas elevadas.

Os ensaios em elevada temperatura do concreto com borracha de pneus indicaram que após o aquecimento ocorreu a grafitização das partículas de borracha, além da liberação de odores provenientes de sua queima no interior dos corpos de prova. Também foi observado que a proporção de perda de resistência entre o concreto sem e com borracha foi mantida após o aquecimento. E a partir das curvas geradas pelas leituras das medidas dos termopares notou-se que existe uma combinação ótima de borracha para que seja obtido um melhor isolamento do concreto.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBRNM: 47: Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994.

COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D.; SILVA, V. P. **Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas**. In: NUTAU'2002. São Paulo, 2002. NUTAU'2002. Sustentabilidade Arquitetura Desenho Urbano: Seminário Internacional. São Paulo: Universidade de São Paulo / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo / Departamento de tecnologia e Urbanismo, 2002. p.1278-1289.

ELDIN, N. N.; SENOUCÉ, A. B. **Observations on rubberized concrete behavior**. Cement, Concrete and Aggregates, v. 15, nº1, p. 74-84, 1993.

GEORGALI, B.; TSAKIRIDIS, P. E. **Microstructure of fire-damaged concrete. A case study**. Cement & Concrete Composites, v.27, p. 255-259, 2005.

HELENE, P.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. Pini, Brasília-DF, 1992.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BARLUENGA, G. **Fire performance of recycled rubber-filled high-strength concrete**. Cement and Concrete Research, v. 34, p.109–117, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO: 834-1: Fire-Resistance tests – Elements of building construction**. Part 1: General Requirements. ISO. Geneva, 1999.

LIMA, I. S.; ROCHA, F. S.; FERREIRA, J. B. **Um estudo da argamassa de cimento com adição de fibras de borracha vulcanizada para a construção civil**. In: Congresso Brasileiro do Concreto. Fortaleza, Brasil, 2000. CD-ROM

LUCCIONI, B. M.; FIGUEROA, M. I.; DANESI, R. F. **Thermo-mechanic model for concrete exposed to elevated temperatures**. Engineering Structures, v.25, p. 729–742, 2003.

NINCE, A. A.; COSTA, C. N.; FIGUEIREDO, A. D.; SILVA, V. P. **Influência das fibras de polipropileno no comportamento do concreto de alta**

resistência endurecido, submetido à ação térmica. In: Congresso Brasileiro do Concreto. Vitória, Brasil, 2003. CD-ROM.

TOPÇU, I.B. **The properties of rubberized concretes.** Cement and Concrete Research, v.25, nº2, p. 304-310, 1995.

TOUTANJI, H. A. **The use of rubber tire particles in concrete to replace mineral aggregates.** Cement and Concrete Composites, n.18, p.135-139, 1996.