

# Impact strength and abrasion resistance of high strength concrete with rice husk ash and rubber tires

## *Resistência ao impacto e à abrasão de concreto de alta resistência com cinza de casca de arroz e borracha de pneus*

M. B. BARBOSA <sup>a</sup>  
mbarbosa@yahoo.com.br

A. M. PEREIRA <sup>b</sup>  
adrianapereira@gmail.com

J. L. AKASAKI <sup>c</sup>  
akasaki@dec.feis.unesp.br

C. F. FIORITI <sup>d</sup>  
cffioriti@hotmail.com

J. V. FAZZAN <sup>e</sup>  
jvfazzan@hotmail.com

M. M. TASHIMA <sup>f</sup>  
tashima@japan.com

J. J. P. BERNABEU <sup>g</sup>  
jjpaya@cst.upv.es

J. L. P. MELGES <sup>h</sup>  
jlmelges@dec.feis.unesp.br

### Abstract

The paper discusses the application of High Strength Concrete (HSC) technology for concrete production with the incorporation of Rice Husk Ash (RHA) residues by replacing a bulk of the material caking and rubber tires with partial aggregate volume, assessing their influence on the mechanical properties and durability. For concrete with RHA and rubber, it was possible to reduce the brittleness by increasing the energy absorbing capacity. With respect to abrasion, the RHA and rubber concretes showed lower mass loss than the concrete without residues, indicating that this material is attractive to be used in paving. It is thus hoped that these residues may represent a technological and ecological alternative for the production of concrete in construction works.

**Keywords:** high strength concrete, rice husk ash, rubber tire, impact resistance, abrasion resistance.

### Resumo

O trabalho aborda a aplicação da tecnologia do Concreto de Alta Resistência (CAR) para a produção de concretos com incorporação dos resíduos de Cinza de Casca de Arroz (CCA) através da substituição em massa de parte do material aglomerante, e borracha de pneus em substituição parcial do agregado miúdo em volume, avaliando suas influências sobre as propriedades de durabilidade e mecânicas. Para os concretos com CCA e borracha, foi possível verificar a redução da fragilidade através do aumento da capacidade de absorção de energia. Com relação à abrasão, os concretos contendo CCA e borracha apresentaram perda de massa inferior ao concreto sem resíduos, indicando que este material é atrativo para o uso em pavimentação. Contudo, espera-se que estes resíduos venham representar uma alternativa tecnológica e ecológica para a produção de concretos na construção civil.

**Palavras-chave:** concreto de alta resistência; cinza de casca de arroz, borracha de pneu, resistência ao impacto, resistência à abrasão.

<sup>a</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Ilha Solteira, mbarbosa@yahoo.com.br, Alameda Bahia n° 550, CEP: 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Ilha Solteira, adrianapereira@gmail.com, Alameda Bahia n° 550, CEP: 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil.

<sup>c</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Ilha Solteira, akasaki@dec.feis.unesp.br, Alameda Bahia n° 550, CEP: 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil.

<sup>d</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente, Campus de Presidente Prudente, cffioriti@hotmail.com, Rua Roberto Simonsen, n° 305, CEP: 19060-900, Presidente Prudente-SP, Brasil.

<sup>e</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Ilha Solteira, jvfazzan@hotmail.com, Alameda Bahia n° 550, CEP: 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil.

<sup>f</sup> Universidade Politécnica de Valência, Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, tashima@japan.com, Edificio Caminos II, Camino de Veras s/n, 46071, Valência, Espanha.

<sup>g</sup> Universidade Politécnica de Valência, Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil, jjpaya@cst.upv.es, Edificio Caminos II, Camino de Veras s/n, 46071, Valência, Espanha.

<sup>h</sup> Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia Civil, Campus de Ilha Solteira, jlmelges@dec.feis.unesp.br, Alameda Bahia n° 550, CEP: 15385-000, Ilha Solteira-SP, Brasil.

## 1. Introdução

O uso de Concreto de Alta Resistência (CAR) vem crescendo mundialmente, com finalidade estrutural, sendo empregado em pilares de edifícios, em barragens, em pisos industriais, em recuperações de estruturas, em peças pré-moldadas, entre outras. Segundo Libório [1], o CAR pode proporcionar um ganho de área útil, diminuir o consumo de material, reduzir a carga permanente da estrutura, o tempo de execução pode ser menor e o período de tempo para que ocorra manutenção pode ser maior.

Nos últimos anos, tem-se verificado um aumento de descarte de rejeitos sólidos, bem como os problemas advindos da exaustão de matérias primas naturais, e isto, vem impulsionando os estudos sobre o aproveitamento de resíduos industriais, reduzindo o seu impacto ambiental e viabilizando a redução de custos industriais.

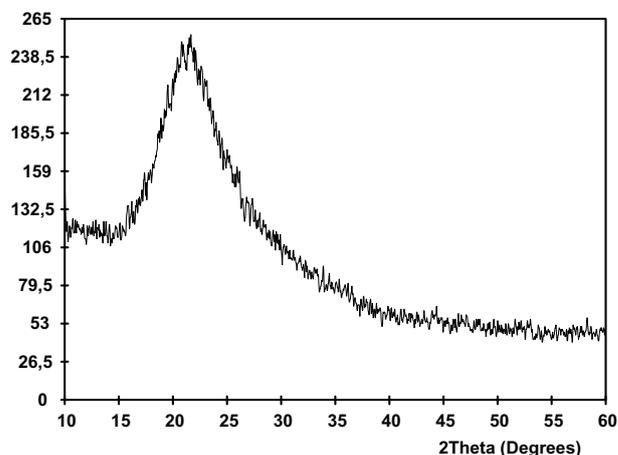
Dentre a variedade de resíduos gerados atualmente, tem-se a Cinza de Casca de Arroz (CCA) e a borracha de pneus inservíveis, que visam não somente a redução de custos dos materiais, como também minimização aos aspectos ambientais através da busca da sustentabilidade dos processos de produção. A incorporação de resíduos industriais ao concreto tais como a CCA (com alta reatividade pozolânica), além de ser uma das soluções para o aproveitamento de subprodutos de outros setores, é também considerada eficiente como um material de substituição de parte do cimento Portland, enriquece o desempenho do compósito final.

A utilização de materiais alternativos, como a escória, a cinza volante, a CCA e a sílica ativa, bem como suas combinações, podem produzir concretos com desempenho adequado para utilização na construção civil (NEVILLE [2]).

Quanto aos resíduos de borracha de pneu incorporados ao concreto, estes apresentam soluções alternativas para minimizar a degradação ambiental através da redução do descarte de pneus na natureza, reduzir os custos e melhorar o desempenho de produtos na construção civil.

Os resíduos de borracha adicionados ao concreto podem vir a atuar como obstáculos no desenvolvimento de fissuras, quando interceptam as microfissuras que surgem durante o endurecimento do concreto, impedindo sua progressão (BONNET [3]). Conforme Vanconcelos e Akasaki [4], que submeteram o concreto a diversos processos de degradação, como a ação da água, temperatura, sais e solução ácida. Com a análise dos resultados verificaram a interferência das adições no combate às ações deletérias no concreto com incorporação de CCA e borracha de pneu. Em geral o estudo mostrou que a durabilidade não foi comprometida com adição dos resíduos, além disso, a borracha mostrou-se muito eficaz no combate a ação de agentes químicos, a altas temperaturas e a entrada de água.

Figura 1 – Difratoograma da CCA



Para Marques et al. [5], seus concretos contendo borracha, mesmo com resistência mecânica à compressão e à tração inferior quando comparada ao concreto sem o resíduo, apresentaram perda de massa semelhante ao concreto de referência. Mostrando que os concretos com borracha apresentam boa resistência à abrasão.

Segundo Akasaki et al. [6], com relação ao ensaio de desgaste por abrasão, a incorporação de CCA no concreto apresentou, para os teores de substituição do aglomerante de 5% e 10%, resultados melhores que o concreto de referência.

Com relação aos ensaios de resistência ao impacto, Fioriti et al. [7] afirmaram que o comportamento de ruptura de peças de concreto com borracha é diferente do concreto de referência, onde foram observadas significativas alterações que demonstraram a efetiva participação física dos resíduos de pneus na contenção do seccionamento das peças de concreto. Porém, não foi possível quantificar tal contribuição, mas consideraram notório o aumento da capacidade de absorção de energia (tenacidade) do concreto com borracha.

A incorporação dos resíduos CCA e a borracha de pneu ao concreto oferece não só vantagens técnicas, como também benefícios sociais relacionados com a redução de problemas de deposição no meio ambiente, servindo de estímulo ao desenvolvimento de pesquisas que investiguem as potencialidades desses materiais. Deste modo, pretende-se que os resultados obtidos neste trabalho forneçam subsídios ao meio técnico, a fim de que ocorram novos avanços na aplicação desses materiais.

Tabela 1 – Caracterização química da CCA (ABNT (8))

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	NaO	K <sub>2</sub> O	Perda fogo
CCA	92,99	0,18	0,43	1,03	0,35	0,10	0,02	0,02	2,36

Tabela 2 – Classificação do resíduo de borracha de pneu

Peneiras normais e auxiliares		Resíduos de borracha de pneu	
Denominação	Abertura (mm)	% Retida	Denominação
1/4"	6,30	1,90	Muito grossa
Nº 8	2,38	45,90	Grossa
Nº 16	1,19	27,20	Média
Nº 200	0,075	25,00	Fina

## 2. Materiais e dosificação do concreto

### 2.1 Cinza de casca de arroz

No presente trabalho foi utilizado uma CCA produzida no laboratório de Engenharia Civil da Unesp – Campus de Ilha Solteira. Trata-se de um processo de queima onde se obtém uma cinza de coloração clara e amorfa. É importante mencionar que o processo de obtenção desse material está sendo patenteado pelo grupo de Materiais Alternativos de Construção – MAC/Unesp.

A composição química da cinza e o difratograma de raio-X são mostrados na Tabela [1] e na Figura [1], respectivamente. A queima da casca de arroz foi realizada sem controle de temperatura, onde foram detectados picos de até 850 °C durante o processo. A CCA apresenta uma coloração cinza clara e, de acordo com a Figura [1] observa-se que a CCA em estudo é um material amorfo. Isto é indicado pelo desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 graus.

Neste estudo a CCA foi submetida a um processo de moagem durante 30 minutos, apresentando um diâmetro médio de 11,08 µm, medido através de um granulômetro a laser. Para o processo de moagem utilizou-se um moinho de bolas Gabrielli Mill-2 que

continha 50 bolas de alumina com 18 mm de diâmetro, com um peso total de 570 g. O tempo de 30 minutos de moagem foi definido com base nos resultados apresentados por Vasconcelos e Akasaki [4], no que tange a influência do tempo de moagem na granulometria da CCA.

### 2.2 Resíduos de pneus

Utilizou-se a borracha proveniente do processo mecânico de recauchutagem de pneus fora de estrada e de máquinas pesadas. A borracha de pneu passou por um processo de peneiramento e seleção granulométrica, e durante este processo foram classificadas como fina, média, grossa e muito grossa; cuja granulometria utilizada nesta pesquisa foi a média, ou seja, os resíduos que passaram na peneira de abertura de malha 2,38 mm e que ficaram retidos na peneira de abertura de malha 1,19 mm. A Tabela [2] apresenta os resultados da classificação da borracha de pneu. Baseado nos estudos de Vita et al. [9] adotou-se a mesma faixa granulométrica e porcentagem de resíduos de borracha de pneu em substituição ao agregado miúdo, ou seja, 3 % de borracha média (em volume). A borracha média apresenta a seguinte descrição: possui formato alongado (tipo fibra), comprimento em sua maior parte inferior a 10 mm e espessura em torno de 1 mm.

Tabela 3 – Características físicas do cimento CP II F – 32 (ABNT (10))

Cimento CP II-F-32		Índices obtidos	Especificações			
			mín.	máx.		
Finura peneira 200 (% retida)		0,14	–	12,0		
Finura peneira 325 (% retida)		1,4	–	–		
Superfície específica - Blaine (cm <sup>2</sup> /g)		4786	2600	–		
Massa específica aparente (g/cm <sup>3</sup> )		1,04	–	–		
Massa específica absoluta (g/cm <sup>3</sup> )		3,02	–	–		
Água de consistência da pasta		gramas	135	–		
		(%)	27,0	–		
Início de pega (h:min)		02:28	01:00	–		
Expansão em auto-clave (%)		0,042	–	–		
Resistência à compressão axial		Consistência da argamassa	gramas	150	–	
			a/c	0,48	–	
			3 dias	36,1	10,0	–
			7 dias	39,5	20,0	–
			28 dias	47,4	32,0	–
		Tensão (MPa)				

Tabela 4 – Composição granulométrica da brita (ABNT (11))

Peneiras (mm)	% Retida acumulada											
	0,149	0,297	0,595	1,190	2,38	4,76	6,30	9,51	12,70	19,0	25,4	
Brita	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,7	74,4	37,2	0,0	0,0	0,0	
Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura		Massa específica									
			Aparente (g/cm <sup>3</sup> )				Absoluta (g/cm <sup>3</sup> )					
19,0	6,31		1,504				2,955					

Tabela 5 – Composição granulométrica da areia (ABNT (11))

Peneiras (mm)	% Retida acumulada											
	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,51	12,7	19,0	
Areia	100,0	91,8	62,4	31,8	18,4	4,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura		Massa específica									
			Aparente (g/cm <sup>3</sup> )				Absoluta (g/cm <sup>3</sup> )					
2,38	2,09		1,584				2,649					

Tabela 6 – Características técnicas do aditivo

Função principal	Teor de sólidos	Dosagem máxima	pH	Massa específica
Superplastificante	35%	2% em relação ao peso do cimento	4,3 ± 0,5	1,08 kg/l a 20 °C

Tabela 7 – Composição granulométrica da borracha de pneu in natura (ABNT (11))

Peneiras (mm)	% Retida acumulada											
	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,51	12,7	19,0	25,4
Borracha	100,0	99,5	96,2	89,5	69,1	21,0	2,3	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0
Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura		Massa específica									
			Aparente (g/cm <sup>3</sup> )				Absoluta (g/cm <sup>3</sup> )					
4,76	3,78		0,33				1,15					

Tabela 8 – Características físicas da CCA (ABNT (8))

Cinza de casca de arroz	Especificações		
		mín.	máx.
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,40	-	-
Densidade absoluta (g/cm <sup>3</sup> )	2,16	-	-
Finura Peneira 325 (% retida)	3,4	-	-
Diâmetro dos grãos (micras)	12,38	-	-
Índices de atividade pozolânica	Água requerida (%)	114,6	- 110,0
	Com cimento (%)	60,7	75,0 -
	Com cal (MPa)	4,9	6,0 -
	Umidade da amostra (%)	1,90	- 3,0

Tabela 9 – Composição das dosificações de concreto

Materiais	Controle	Controle/Borracha	5% CCA	CCA/Borracha
Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	466,67	466,67	443,33	443,33
CCA (kg/m <sup>3</sup> )	-	-	23,33	23,33
Agregado graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	1125,00	1125,00	1125,00	1125,00
Agregado miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	812,31	732,60	801,99	722,28
Borracha de pneu (kg/m <sup>3</sup> )	-	34,50	-	34,50
Água (kg/m <sup>3</sup> )	140,00	140,00	140,0	140,00
Água/aglomerante (a/agl)	0,30	0,30	0,30	0,30
Aditivo superplastificante (kg/m <sup>3</sup> )	3,74	3,74	5,35	5,35
% Superplastificante/cimento (massa)	0,80%	0,80%	1,20%	1,20%
% Adição mineral (massa)	-	-	5,00%	5,00%
% Teor de argamassa	54,00%	52,00%	54,00%	54,00%
Agregado graúdo em relação ao miúdo	56,12	58,65	56,44%	58,99%
% Borracha no m <sup>3</sup> (volume)	-	3,00%	-	3,00%
% Borracha/miúdo (volume)	-	10,88%	-	11,04%
% Borracha/gráudo (volume)	-	7,67%	-	7,67%

### 2.3 Dosificação do concreto

Os seguintes materiais foram caracterizados e constituíram a dosificação do concreto: cimento Portland CP II F 32 (Tabela [3]), brita de origem basáltica (Tabela [4]), areia natural (Tabela [5]) e aditivo superplastificante - policarboxilato (Tabela [6]). Utilizou-se também a incorporação da borracha de pneu (Tabela [7]) e a CCA (Tabela [8]) na composição dos concretos. O procedimento utilizado para a composição da dosificação de CAR foi proposto pelo pesquisador canadense Aïtcin [12], denominado "Método Aïtcin". Este método é específico para o CAR, cujos parâmetros são aprimorados através de resultados empíricos baseando-se no critério de valor absoluto. O procedimento do método iniciou-se pela seleção de diferentes características da dosificação:

- Relação água/aglomerante: relações propostas entre água/aglomerante e a resistência;
  - Aditivo: baseado no ponto de saturação;
  - Teor de agregado graúdo: em função da forma típica das partículas;
  - Teor de ar incorporado: por meio de estimativa inicial sugerida (1,5 %).
- Em seguida fez-se uma correlação entre a relação água/aglomerante e o aditivo, determinando-se a quantidade de aglomerante a ser empregada na dosificação, e o volume restante a ser preenchido em um metro cúbico foi completado com agregado miúdo. Ressalta-se que os teores de argamassa e agregado graúdo foram avaliados pelo método adotado por Helene e Terzian [13]. Para melhor esclarecimento, os concretos estudados

Figura 2 – Moldagem de corpo de prova para ensaio de abrasão (30 cm x 10 cm)



Figura 3 – Moldagem de corpos de prova para ensaio de impacto (5 cm x 15 cm x 30 cm)



Figura 4 – Corpos de prova para ensaios de compressão e tração (10 cm x 20 cm)



neste trabalho foram classificados de acordo com as seguintes situações:

- Concreto sem (0 %) incorporação mineral – **Controle**;
- Concreto sem (0 %) incorporação mineral e 3 % de borra-cha – **Controle/Borracha**;
- Concreto com 5 % de cinza de casca de arroz – **5 % CCA**;
- Concreto com 5 % de cinza de casca de arroz e 3% de borra-cha – **CCA/Borracha**.

A Tabela [9] apresenta as composições das dosificações de concreto utilizados. Determinada a quantificação dos materiais, pas-sou-se à produção dos concretos e preparo dos corpos de prova. Os concretos foram produzidos, segundo a ABNT [14], em betoneira de eixo inclinado.

Foram moldados corpos de prova cilíndricos de 30 cm x 10 cm (diâmetro x altura), destinados ao ensaio de abrasão, realizado aos 28 dias de idade, sendo apresentado um modelo na Figura [2]. Para o ensaio de resistência ao impacto, realizado aos 7 e 28 dias de idade, foram moldados corpos de prova prismáticos (placas) de 5 cm x 15 cm x 30 cm, apresentados na Figura [3]. Também foram moldados corpos de prova cilíndricos de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura), Figura [4], para realização dos ensaios de resistência à compressão e à tração, e posterior análise de uma correlação entre as resistências e os valores obtidos nos ensaios de impacto e de abrasão.

Após a moldagem, todos os corpos de prova foram revestidos por plástico filme e mantidos no ambiente de laboratório por aproximadamente 24 horas. Ao retirar as fôrmas, colocaram-se os corpos de prova em câmara úmida, segundo a ABNT [15], até a data de realização dos ensaios.

### 3. Metodologia para realização dos ensaios

#### 3.1 Resistência ao impacto

Quanto à determinação da resistência ao impacto dos CAR, seguiram-se as especificações da ABNT [16]. O método utilizado

Figura 5 – Aparato utilizado no ensaio de impacto

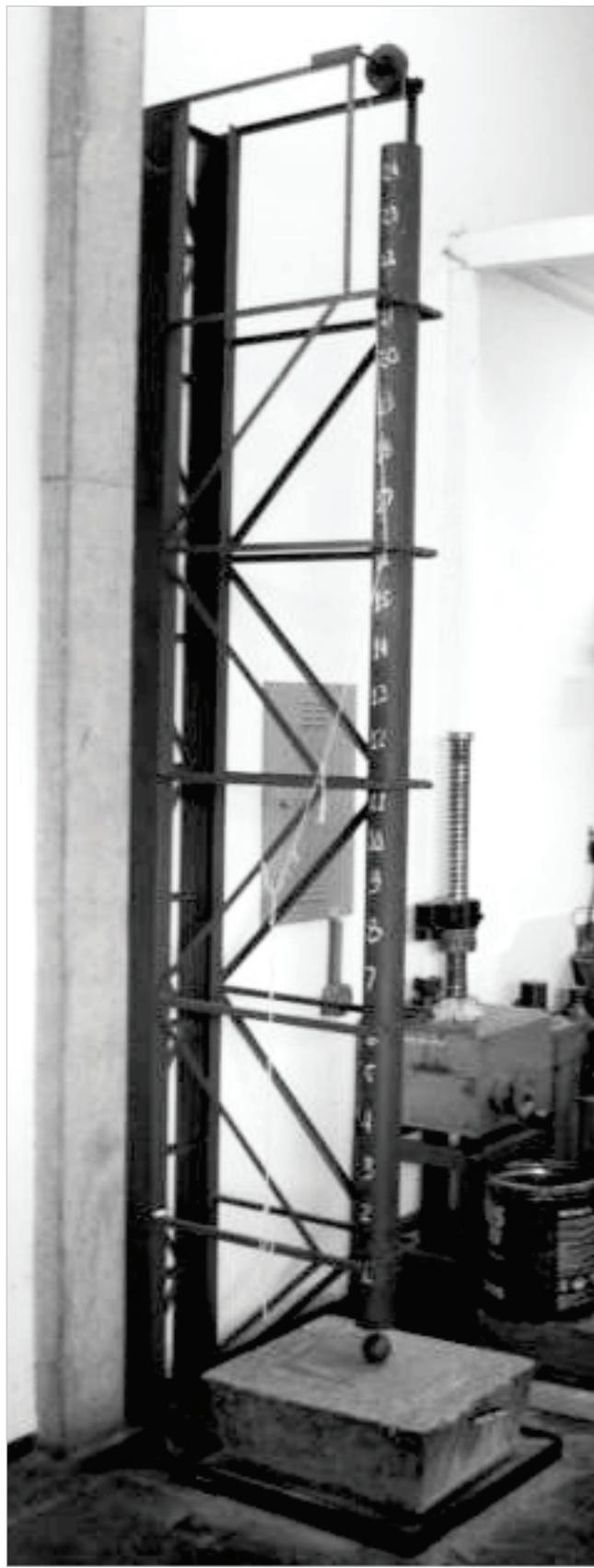


Figura 6 – Aparelho para o ensaio de abrasão



baseou-se na queda livre de uma esfera com massa conhecida sobre o centro de um corpo de prova de concreto colocado em uma caixa de areia padronizada.

O equipamento do ensaio de resistência ao impacto é composto por um tubo de comprimento de 2,20 m fixado na parede, por uma esfera metálica ligada a um cordão no interior do tubo com peso de 0,5 kg, passando por uma roldana e uma caixa metálica contendo areia situada abaixo do tubo, onde se colocou o corpo de prova, sendo visualizado o aparato na Figura [5]. O ensaio foi realizado considerando que a esfera cai em queda livre, onde ocorre uma variação da altura de queda da mesma. Foram utilizados três corpos de prova por dosificação de concreto neste ensaio.

A resistência ao impacto foi determinada através do somatório de energia para o surgimento da primeira fissura na face superior e/ou ruptura do corpo de prova. A Equação [1] foi utilizada nesse ensaio:

$$E_i = h \times m \times a \quad (1)$$

Sendo:

$E_i$  = Energia de impacto (N.m ou J);

$h$  = altura de queda (m);

$m$  = massa da esfera (kg);

$a$  = aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ).

### 3.2 Resistência à abrasão

O ensaio de resistência à abrasão foi baseado no método do *U. S. Corps of Engineers* intitulado “*Abrasion – Erosion Resistance of Concrete*” (LCEC [17]). O aparato utilizado para a realização deste ensaio consiste essencialmente de um motor elétrico, uma pá de agitação, e um recipiente cilíndrico de aço para conter o corpo de prova, onde posteriormente foram adicionadas esferas de aço com o intuito de propiciar o desgaste por abrasão. A Figura [6] apresenta o aparelho para o ensaio de resistência à abrasão.

O desgaste foi calculado em função da variação percentual de massa, no decorrer de 71 horas de ensaio, sendo pesado antes de iniciar o ensaio e após 10, 24, 48 e 71 horas. Um único corpo de prova foi utilizado neste ensaio por dosificação de concreto.

Tabela 10 – Resultados de resistência ao impacto dos concretos de alta resistência (1ª fissura)

Dosificação	1ª fissura observada					
	Altura de queda (m)		Resistência ao impacto (J)		Espessura (mm)	
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias
Controle	1,5	1,6	59,5	67,5	0,3	0,3
Controle/Borracha	1,6	1,7	67,5	76,0	0,05	0,05
5% CCA	1,8	1,9	85,0	94,5	0,1	0,1
CCA/Borracha	1,9	2,0	94,5	104,5	0,05	0,05

Tabela 11 – Resultados de resistência ao impacto dos concretos de alta resistência (última fissura)

Dosificação	Última fissura observada						Observações
	Altura de queda (m)		Resistência ao impacto (J)		Espessura (mm)		
	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	7 dias	28 dias	
Controle	1,7	1,8	76,0	85,0	0,5	0,5	Seccionou totalmente
Controle/Borracha	1,8	1,9	94,5	94,5	0,2	0,5	Não seccionou
5% CCA	2,0	2,1	104,5	115,0	0,5	0,5	Seccionou totalmente
CCA/Borracha	2,1	2,2	115,0	126,0	0,2	0,2	Não seccionou

### 3.3 Resistências à compressão e à tração

As resistências mecânicas foram obtidas segundo as seguintes especificações: resistência à compressão simples (ABNT [18]) e resistência à tração por compressão diametral (ABNT [19]). Tais ensaios foram realizados aos 3, 7, 28 e 63 dias de idade, onde os valores foram estabelecidos através da média aritmética de três corpos de prova por idade e por dosificação de concreto.

## 4. Resultados e discussões

As Tabelas [10] e [11] apresentam os resultados de resistência ao impacto dos CAR. Constatou-se que para os CAR com ou sem incorporação mineral e sem adição de borracha, foi necessário um número menor de impactos (menor energia) para o surgimento da primeira fissura, quando comparados à primeira fissura aos CAR com borracha, independente da idade.

Percebeu-se que os CAR com incorporação mineral tiveram resistência ao impacto superiores, quando comparados a dosificação Controle, independentemente da idade e ordem de observação

das fissuras (primeira e última fissura). Este fato também ocorreu para os CAR com incorporação mineral e borracha.

Em relação aos CAR com incorporação mineral e borracha, verificou-se uma parcela de ganho de resistência ao impacto na última fissura, cujos valores variaram de 9% a 20 %, aos 28 dias de idade, comparativamente aos CAR somente com incorporação mineral. Enquanto a dosificação Controle/Borracha apresentou redução de 10 % de resistência ao impacto, nesta mesma idade.

Após a aplicação subsequente de impacto em relação à primeira fissura, determinou-se a última fissura, apresentando espessura entre 0,2 mm a 0,5 mm para os CAR com incorporação mineral e sem incorporação mineral, havendo o seccionamento total dos corpos de prova (placas). Os CAR com borracha apresentaram uma espessura das fissuras de até 0,5 mm, chegando a uma altura máxima de queda de até 2,20 m, não ocorrendo o seccionamento total dos corpos de prova. A Figura [7] apresenta alguns corpos de prova ao final do ensaio de resistência ao impacto.

Na Figura [8], podem ser visualizados os resultados de resistência à abrasão dos concretos, aos 28 dias de idade, obtidos pelas

Figura 7 – (a) Corpo de prova com a última fissura observada (0,2 mm) na dosificação CCA/Borracha; (b) Corpo de prova seccionado ao final do ensaio na dosificação Controle

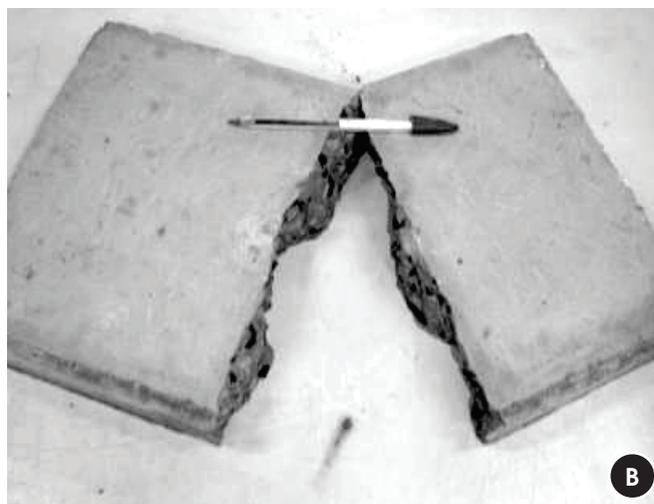


Figura 8 – Resistência à abrasão dos CAR

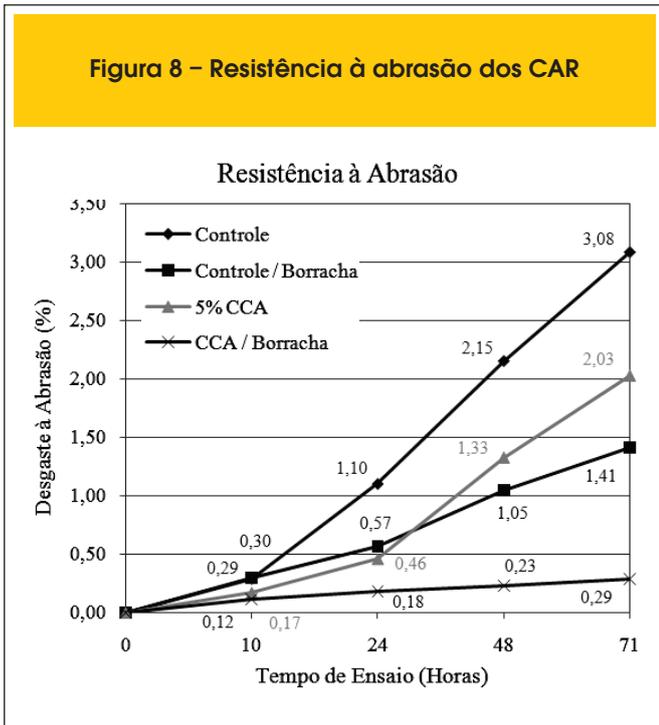
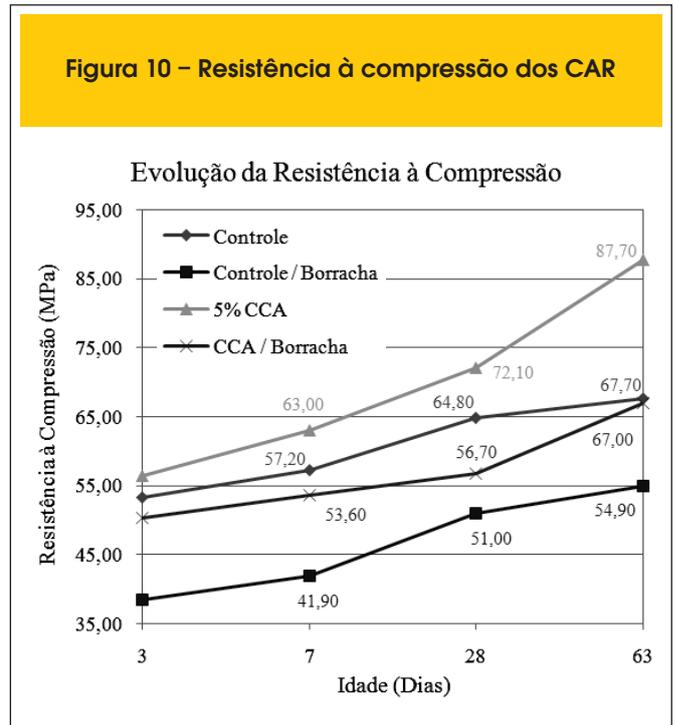


Figura 10 – Resistência à compressão dos CAR



porcentagens de perda massa, através do desgaste à abrasão. Observando a Figura [8], percebeu-se que houve uma diminuição na perda de massa, em todos os períodos de ensaio dos CAR com incorporação mineral, em relação às perdas de massa apresentadas no CAR Controle. A perda de massa, em 71 horas, foi 34% menor para a dosificação com 5% de CCA, em relação ao CAR Controle. Supõe-se que a menor quantidade de cimento hidratado

nos CAR com incorporação mineral foi compensado pelas ações do efeito microfíler.

Em relação aos CAR com borracha, todas as dosificações apresentaram resultados de perda de massa menores, quando comparados aos CAR sem borracha.

Comparando-se a porcentagem de desgaste final da dosificação

Figura 9 – (a) Desgaste à abrasão - Controle; (b) Controle/Borracha; (c) 5% CCA; (d) CCA/Borracha

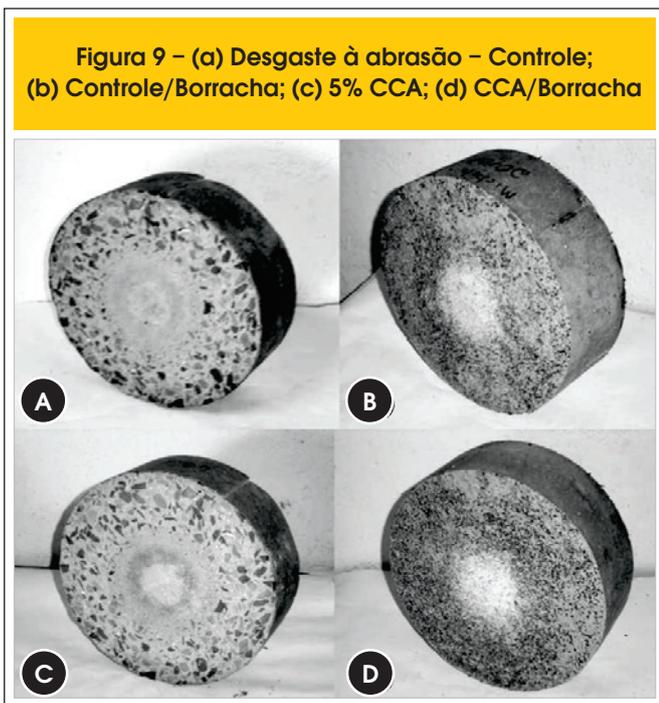
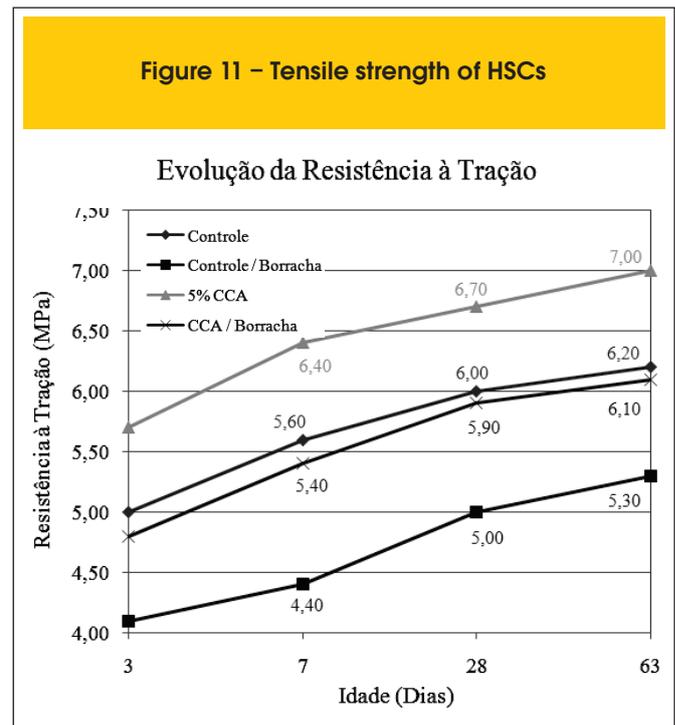


Figure 11 – Tensile strength of HSCs



Controle/Borracha, submetido ao ensaio de abrasão, 1,41%, com os resultados da dosificação com CCA/Borracha, em 0,29%, pode-se dizer que a adição de CCA contribui para uma melhoria na resistência à abrasão do concreto.

Dessa forma, pode-se afirmar que os concretos com CCA e borracha, mostraram um bom desempenho quando submetidos ao desgaste à abrasão, indicando que esse tipo de concreto pode ser utilizado, por exemplo, na pavimentação. Através da Figura [9a,b,c,d], pode-se visualizar os corpos de prova ao fim do ensaio de resistência à abrasão.

Com relação aos ensaios de resistências mecânicas, Figuras [10] e [11], as dosificações com incorporação mineral apresentaram inferioridade dos valores da relação entre resistência à tração e resistência à compressão, ao longo das idades analisadas, comparativamente ao traço Controle, mostrando ser um material mais frágil. Quanto à dosificações com incorporação de borracha, constatou-se superioridade dos valores da relação entre resistência à tração e resistência à compressão, em relação aos CAR sem borracha, demonstrando maior ductilidade.

Aos 7 dias de idade, a dosificação com CCA/Borracha demonstrou superioridade de valores da relação entre resistência à tração e resistência à compressão, quando comparada a dosificação com 5% de CCA, aos 63 dias de idade.

A dosificação Controle/Borracha apresentou valores da relação entre resistência à tração e resistência à compressão superior a dosificação com CCA/Borracha, nas idades analisadas, demonstrando ser menos frágil.

Fazendo-se uma correlação entre a resistência ao impacto com as resistências mecânicas de compressão e tração, percebeu-se que os resultados não seguem a mesma tendência com as dosificações com borracha, ou seja, as dosificações CCA/Borracha e Controle/Borracha apresentaram maior absorção de energia de impacto que a dosificação Controle, porém suas resistências mecânicas foram as mais baixas. O mesmo não podendo ser mencionado para a dosificação com 5% CCA, que obteve absorção de energia praticamente igual ao da com CCA/Borracha, e ainda atingiu os maiores valores de resistências mecânicas de compressão e tração.

Correlacionado o desgaste por abrasão com as resistências mecânicas, notou-se as dosificações CCA/Borracha e Controle/Borracha apresentaram o menor desgaste e obtiveram as menores resistências à compressão e à tração. Enquanto que a dosificação com 5% CCA obteve desgaste menor apenas que a Controle, apresentando as maiores resistências mecânicas.

Diante das correlações, podemos afirmar que tanto as dosificações contendo CCA como as com borracha apresentam maiores capacidades de absorção de energia (tenacidade) e menor desgaste por abrasão, quando comparadas a Controle. E com isso, as maiores resistências mecânicas no concreto não indicam, necessariamente, que os concretos deverão apresentar maior capacidade de absorção de energia e propiciarem menor desgaste por abrasão.

## 5. Conclusões

Com relação ao ensaio de impacto, os concretos com CCA e borracha apresentaram desempenho superior a dosificação Controle/Borracha. Em relação às adições, pode-se dizer que o concreto com CCA apresentou desempenho superior que o concreto Controle.

Os resultados do ensaio de abrasão nos concretos contendo CCA e borracha apresentaram perda de massa inferior aos concretos sem borracha e ao concreto Controle/Borracha.

Quanto ao comportamento de ruptura resultante dos ensaios de impacto, pode-se concluir que os concretos com adição de borracha apresentaram uma melhor ductilidade, observado pelo aumento da capacidade de absorção de energia, quando comparado aos concretos sem adição de borracha.

A incorporação de resíduos de CCA e borracha de pneu ao CAR demonstrou viabilidade de uso na pavimentação, devido essencialmente ao bom desempenho das propriedades estudadas. Contudo, espera-se que estes resíduos venham realmente representar uma alternativa tecnológica e ecológica para a produção de concretos na construção civil.

## 6. Referências bibliográficas

- [01] LIBÓRIO, J. B. L. Análise das propriedades mecânicas de concretos com agregados de  $D_{m\acute{a}x} \varnothing 6,3\text{mm}$  e com diferentes tipos e teores de sílica. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 45, 2003, Vitória, 2003, Anais, Vitória, 2003. (CD ROM).
- [02] NEVILLE, A. Propriedades do concreto. 2.ed. São Paulo: Pini, 1997.
- [03] BONNET, S. Matériaux cimentaires a haute deformabilite par incorporation de granulats issus du broyage de pneus usages, França, 2004, Tese (doutorado) – Universite Toulouse III – Paul Sabatier, 280p.
- [04] VASCONCELOS, A. R. B.; AKASAKI, J. L. Análise da durabilidade do concreto de alto desempenho com adição de Rice Husk Ash e Rubber de pneu. Ambiente Construído (Online), v. 10, p. 77-90, 2010.
- [05] MARQUES, A. C.; NIRSHCL, G. C.; AKASAKI, J. L. Propriedades mecânicas do concreto adicionado com Rubber de pneus. Holo Environment, Rio Claro, v. 6, n.1, 2006.
- [06] AKASAKI, J. L.; RICCI, E. C.; VASCONCELOS, A. R. B.; MACEDO, P. C. Avaliação da adição de resíduo agroindustrial como alternativa ecologicamente correta para a construção civil. In: Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, 33, 2008, Santiago – Chile, 2008, Anais, Santiago-Chile, 2008. (CD\_ROM).
- [07] FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Análise experimental de blocos intertravados de concreto com adição de resíduos do processo de recauchutagem de pneus. Acta Scientiarum. Technology (Online), v. 32, p. 237-244, 2010.
- [08] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Materiais pozolânicos – Requisitos NBR 12653, Rio de Janeiro, 2012.
- [09] VITA, M. O.; MACEDO, P. C.; AKASAKI, J. L.; FAZZAN, J. V.; MARTINS, I. R. F. Influência da adição de resíduo de Rubber pneumática em concreto de alto desempenho. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 49, 2007, Bento Gonçalves, 2007, Anais, Bento Gonçalves, 2007. (CD-ROM).

- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland composto – Especificação – NBR 11578, Rio de Janeiro, 1997.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da composição granulométrica – NBR NM 248, Rio de Janeiro, 2003.
- [12] AITCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. São Paulo: Pini, 2000.
- [13] HELENE, P.; TERZIAN, P. Manual de dosagem e controle do concreto. São Paulo: Pini, 349p., 1993.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Preparação de concreto em laboratório – Procedimento – NBR 12821, Rio de Janeiro, 2009.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – NBR 5738, Rio de Janeiro, 2003.
- [16] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da resistência ao impacto de piso cerâmico – NBR 9454, Rio de Janeiro, 1986. (norma extinta).
- [17] LABORATÓRIO CESP DE ENGENHARIA CIVIL (LCEC). Avaliação da resistência a abrasão de superfícies de concreto submersas. Ilha Solteira, 1983. nº. C-38/83. (relatório não publicado).
- [18] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – NBR 5739, Rio de Janeiro, 2007.
- [19] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos – NBR 7222, Rio de Janeiro, 2011.