

## Analysis of bond steel-concrete with tire rubber incorporation

Análise da Aderência Aço-Concreto com Incorporação de Resíduos de Pneus



V. H. FRANÇA<sup>a</sup>

valerio@dec.feis.unesp.br

M. P. BARBOSA<sup>a</sup>

barros@civil.uminho.pt

### Abstract

In the present work the adherence behavior of steel-concrete incorporated by rubber derived from tire rethreading residues has been evaluated. The analysis employed the 7477 NBR lifter as well as the CB RC6 and C234 ASTM conforming pullout tests. Conventional and rubber-incorporated concrete, both reinforced with 10.0, 12.5 and 16.0 mm diameter CA 50 steel ribs, have been submitted to test, using periods of 28 and 90 days. From the adherence results, it has been found out that rubber-incorporated concrete can only be suggested for structures under light or negligible efforts. In fact, in the case of structures requiring significant efforts, a necessary concrete matrix improvement must be obtained in order to enhance the rubber-incorporated steel-concrete mechanical resistance and, as a consequence, a much better adherence behavior. © 2005 IBRACON. All rights reserved.

Keywords: bond steel-concrete; residues of tires; alternative material; concrete with rubber.

### Resumo

Neste trabalho avaliou-se o comportamento da aderência aço-concreto com incorporação de resíduos de borracha oriundos da recauchutagem de pneus. Para esta avaliação utilizou-se o ensaio de tirantes normalizado pela NBR 7477 e o ensaio de arrancamento, "pull-out-test" normalizado pela CB RC6 e também na ASTM C234. Realizaram-se os ensaios para o concreto convencional e com incorporação de resíduos de borracha, utilizando-se barras de aço CA 50 nervuradas nos diâmetros de 10,0, 12,5 e 16,0mm. Os ensaios foram realizados nas idades de 28 e 90 dias. Com a obtenção dos resultados das tensões de aderência obtidos foi possível avaliar a utilização do concreto com incorporação de resíduos de borracha em estruturas sem grandes esforços atuantes. Para situações com esforços solicitantes significativos, é necessário melhorar a matriz do concreto de forma a obter um acréscimo nos índices de resistência mecânica e conseqüentemente na aderência aço-concreto. © 2005 IBRACON. All rights reserved.

Palavras-chave: aderência aço-concreto; resíduos de pneus; material alternativo; concreto com borracha.

<sup>a</sup> Universidade Estadual Paulista, Depto. de Eng. Civil, Faculdade de Eng. Ilha Solteira, Alameda Bahia, 550, Ilha Solteira- SP, Brasil

## 1 Introdução

Os pneus inservíveis têm se tornado um problema maior a cada dia. Não existe uma destinação ambiental correta, pois quando são lançados em lixões podem levar cerca de 240 anos para se decomporem além de se tornarem criadores de mosquitos transmissores de doenças. Quando se opta pela queima desses pneus o prejuízo causado ao meio ambiente acontece devido a enorme quantidade de fumaça negra e pelo óleo que penetra e contamina solos e lençóis d'água. Uma forma de diminuir este impacto é a reutilização dos pneus, processo denominado recauchutagem.

O processo de recauchutagem gera uma grande quantidade de resíduos que ficam sem destinação correta. Para estes resíduos alguns pesquisadores estudam sua utilização em concreto, argamassa, pavimentações (Raghavan [3], Fazio[4], Lima[5]) etc. Desta maneira, além de dar uma destinação aos resíduos de pneus, o consumo de agregados naturais, tal como a areia, pode ser amenizado.

Os concretos com fibras, comparados aos concretos convencionais, têm capacidade plástica mais elevada. Com a adição das fibras de borracha, considerado como material elástico, o concreto torna-se dúctil e apresenta o comportamento semelhante ao de uma estrutura elástica sob ação de carregamento. A adição de fibras de borracha incorpora uma parcela plástica ao comportamento do concreto que, segundo Topçu[6], daria ao mesmo maior resistência a impactos. De acordo com o autor, estes concretos podem ser aplicados em construções sujeitadas a efeitos de impacto, tais como muros de contenção, pontes e estradas.

Para viabilizar a utilização dos resíduos de borracha como substituição de parte do agregado miúdo no concreto, foram realizados ensaios referentes às propriedades mecânicas do concreto com resíduo de borracha, comparando os resultados obtidos com o concreto convencional. Entretanto, para viabilizar sua utilização em estruturas de concreto armado é necessário avaliar seu comportamento estrutural. Iniciou-se, portanto, este estudo com a análise da aderência aço-concreto com resíduos de borracha através do ensaio de tração simétrica especificado pela RILEM e do ensaio "pull-out" normalizado pela NB-1, com barras de aço nervurado CA50-A de três diâmetros diferentes : 10, 12,5 e 16 mm. Os ensaios ocorreram nas idades de 28 e 90 dias estando a metodologia e os resultados obtidos descritos a seguir.

## 2 Concreto com adição de resíduos de borracha

No Brasil a construção civil é responsável por cerca de 30% do consumo dos recursos naturais extraídos, equivalente a 220 milhões de toneladas de agregados naturais por ano, que são retirados para serem utilizados em argamassas e na produção de concretos.

Com a necessidade de se utilizar novos materiais que venham a substituir estes agregados, alguns pesquisadores (Lima [5], Ribeiro [7]) tiveram a idéia de utilizar o resíduo de borracha, proveniente da recauchutagem de pneus, como parte do agregado miúdo. Assim, buscando um melhor aproveitamento da borracha, vários estudos

(Akasaki [8], Fioriti [9]) vêm sendo desenvolvidos para que esse tipo de resíduo possa ser adicionado ao concreto.

Algumas propriedades do concreto podem ser melhoradas utilizando-se a borracha, como por exemplo, a propagação de fissuras. Segundo (Accetti e Pinheiro [10]) as fibras de borracha atuam como obstáculos ao desenvolvimento das fissuras. Os autores afirmam que ao interceptarem as microfissuras que surgem durante o endurecimento da pasta, as fibras impedem sua progressão e evitam o aparecimento prematuro das microfissuras. Na mistura endurecida, elas também limitam o comprimento e a abertura das fissuras.

Atualmente, no Brasil, a fibra de borracha está sendo utilizada como incorporação em asfalto. A borracha é utilizada na liga do asfalto e melhora muitas de suas propriedades, sendo que em alguns países, já é usada também em lombadas. Eldin e Senouci [11] em uma de suas pesquisas, utilizaram tiras de borracha provenientes da raspagem de pneus com grande área de sulco. Com este material executou-se uma base de pista de teste, misturando as tiras com materiais da região, como solo e rochas.

## 3 Aderência do Concreto

A aderência assegura a igualdade de deformações específicas da armadura e do concreto que a envolve, quando da ação de cargas. O seu comportamento tem importância decisiva com relação à capacidade de cargas das estruturas de concreto armado.

Existem vários ensaios que determinam os valores da tensão de aderência entre a armadura de aço e o concreto. Dentre eles pode-se destacar o "pull-out-test", "ring pull-out-test", "beam test", "push-out test", ensaios das quatro barras, ensaio de tração simétrica, etc. O ensaio "pull-out-test", considerado como o mais tradicional dos ensaios de aderência, consiste em extrair uma barra de aço posicionada no centro de um corpo de prova de concreto, colocado sobre placas de apoio de uma máquina de ensaio. As duas extremidades da barra são projetadas para fora do corpo de prova, medindo-se a força de tração aplicada a um dos extremos e os escorregamentos no outro extremo.

O ensaio "ring pull-out-test" difere do anterior pelo fato do corpo de prova ser sempre cilíndrico e ficar envolvido por anel metálico que abraça o comprimento mergulhado; este anel é instrumentado com "strain-gages" que possibilitam medir, além das deformações ocorridas no anel, a tração exercida em um dos extremos da barra e os escorregamentos.

O "Beam Test" consiste em um corpo de prova constituído de dois blocos paralelepípedicos, ligados em sua parte inferior pela barra de aço destinada ao estudo de aderência e em sua parte superior por uma rótula metálica. A viga é solicitada à flexão simples, sobre dois apoios, por duas forças concentradas de mesma magnitude que agem a distâncias iguais dos extremos. Nos extremos das barras colocam-se deflectômetros, a fim de que possam ser medidos os deslocamentos relativos da barra em relação ao concreto. A ancoragem é limitada ao comprimento especificado, com a ajuda de tubos plásticos que eliminam a aderência nos trechos desejados.

A principal característica do ensaio "push-out test", é que a barra contida no corpo de prova de concreto sofre deslizamento por uma força de compressão e não de tração, como utilizada no ensaio pull-out-test convencional. Os resultados deste ensaio são superiores ao tradicional em virtude da dilatação lateral da barra no interior do concreto. Neste trabalho optou-se pela realização dos ensaios de tração simétrica, segundo a norma brasileira NBR 7477 e o ensaio "pull-out-test", que vem sendo utilizado com sucesso por outros pesquisadores (Barbosa [13], Barbosa [14]), o qual descrevemos a seguir.

### 3.1 Ensaio de tração simétrica

Também conhecido como "ensaio de tirante" o ensaio de tração simétrica, especificado pela NBR 7477, consiste em exercer um esforço de tração aos dois extremos de uma barra imersa no centro de um corpo-de-prova de concreto prismático (figura 1), com o objetivo de avaliar a aderência entre o concreto e o aço. Em geral, estes ensaios se destinam ao estudo da fissuração e reproduzem muito bem as condições reais de sollicitação das barras na região tracionada de vigas fletidas (Barbosa [13]). A NB-1 indica esse ensaio para o estudo da fissuração no concreto armado.

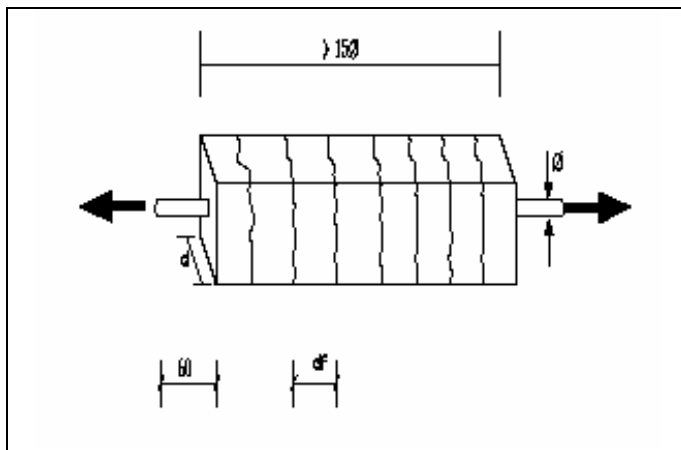


Figura 1 – Ensaio da Tração Simétrica

Onde:

$df$  = distância entre fissuras;  $\phi$  = diâmetro da barra

Através da avaliação ocorrida da abertura e da distância entre fissuras, o ensaio de tração simétrica permite a determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados à armadura de concreto armado.

### 3.2 Ensaio "pull-out-test"

Esse tipo de ensaio tem sido utilizado, principalmente, para pesquisar o comportamento de barras de diferentes perfis, avaliar a aderência das barras em concretos de diferentes qualidades, determinar o efeito da direção de concretagem, determinar o efeito da duração e do tipo de carregamento, avaliar a influência da posição da armadura e pesquisar a influência do comprimento mergulhado, para o estudo da influência sobre a aderência do cobrimento, espaçamento, armadura transversal e forças transversais.

As vantagens deste ensaio são que além do baixo custo e simplicidade ele fornece uma idéia clara do conceito de ancoragem.

Este ensaio de arrancamento direto é normalizado pela RILEM, doc 7.II.128 (1973) e também está referido na ASTM C234 (1991).

## 4 Programa Experimental

Apresenta-se a seguir os procedimentos usados para avaliação e comparação da aderência aço-concreto, entre os dois tipos de concretos: convencional e com incorporação de resíduos (fibras) de borracha de pneu, ensaiados com três diâmetros diferentes de barras de aço nervurada.

As barras utilizadas neste trabalho foram as do tipo nervuradas com seção circular de diâmetro nominal igual a 10,0; 12,5 e 16,0 mm da classe CA-50, fabricada pela Siderúrgica Belgo-Mineira localizada em Piracicaba-SP. Na tabela 1 apresentamos as características das armaduras.

Os materiais utilizados para confecção dos concretos foram provenientes da região de Ilha Solteira-SP-Brasil, a saber:

**Agregado Miúdo:** areia média proveniente do leito do Rio Paraná, porto de areia Nossa Senhora Aparecida da cidade de Castilho -SP com módulo de finura igual a 2,25, massa específica seca igual a 2,58 g/cm<sup>3</sup> e massa unitária aparente seca de 1,533 g/cm<sup>3</sup>;

Tabela 1 - Resultados da caracterização das barras de aço.

Diâmetro mm	Inclinação nervura (°)	Limite Escoamento (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Limite Resistência (Kgf/mm <sup>2</sup> )	Alongamento (%)
10.0	51	619.0	778.3	14.00
12.5	46	609.7	776.3	14.67
16.0	47	630.7	795.0	16.07

**Agregado Graúdo:** brita tipo 1, de origem calcária, proveniente da cidade de Monções -SP com diâmetro máximo de 19,0mm, módulo de finura igual a 6,95 e peso específico seco igual a 2,92 g/cm<sup>3</sup>;

**Cimento:** cimento Portland de alta resistência inicial (CPV-ARI) com superfície específica Blaine de 4499 cm<sup>2</sup>/g e densidade absoluta de 3,15 g/cm<sup>3</sup>;

**Resíduos de Borracha:** proveniente do processo de recauchutagem de pneus, da Recuperadora de Pneus Araçá-Ltda, com com diâmetro máximo de 1,19 mm, módulo de finura igual a 2,2 massa específica absoluta igual a 1,09 g/cm<sup>3</sup>;

Foram confeccionados dois tipos de concreto: o convencional e o concreto com adição de 10% de resíduos de borracha, cujas composições encontram-se na tabela 2.

Os valores das propriedades mecânicas dos concretos ( $f_c$ ,  $f_t$  e  $E_c$ ) foram obtidos através dos ensaios realizados segundo as normas brasileiras [15], [16] e [17]. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos, para resistência à compressão, resistência à tração e módulo de deformação nas idades de 7, 28 e 90 dias.

**Tabela 2 – Traços dos concretos utilizados**

Materiais	Concreto Convencional Kg/m <sup>3</sup>	Concreto com adição resíduos kg/m <sup>3</sup>
Cimento	295.57	325.80
Água	195.03	215.03
areia	931.53	768.35
brita	1,000.57	1,000.57
Resíduos de borracha	-----	36.06

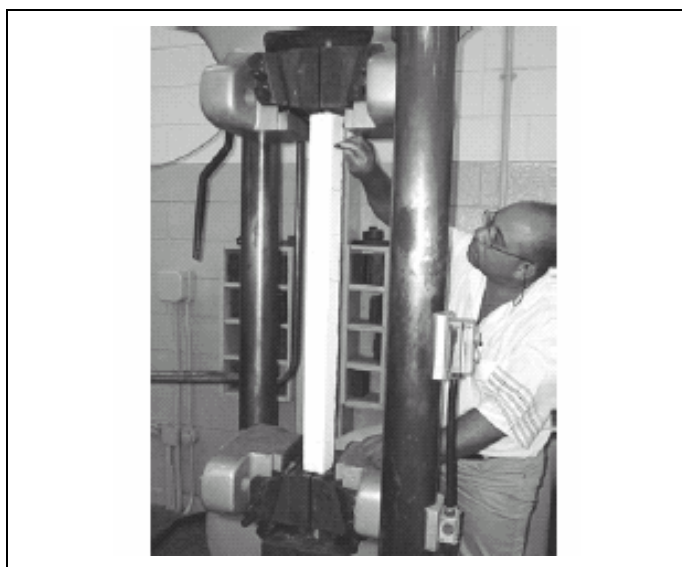
**Tabela 3 - Valores obtidos nos ensaios das propriedades mecânicas do concreto**

	Idade (dias)	Concreto convencional	Concreto c/ resíduos
Resistência à Compressão (MPa)	7	24.18	17.24
	28	27.97	19.29
	90	30.35	19.72
Resistência à Tração (MPa)	7	2.84	1.88
	28	3.57	2.34
	90	3.88	2.41
Módulo de Deformação (GPa)	7	35.05	32.50
	28	41.27	34.45
	90	42.48	34.96

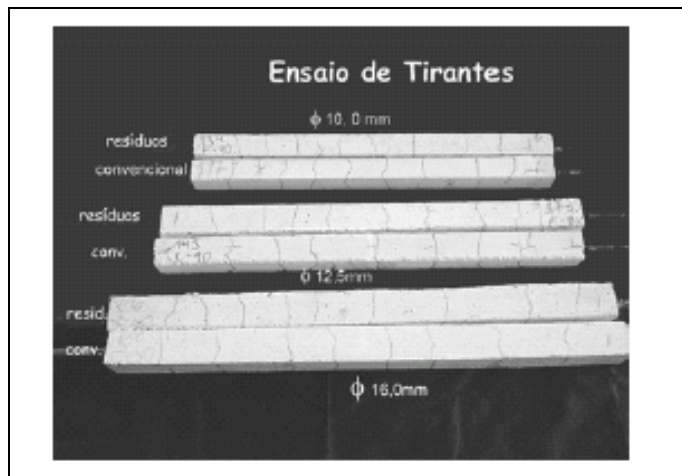
## 5 Resultados e análises

### 5.1 Ensaio de tração simétrica

No ensaio de tração simétrica a barra de aço foi submetida a uma força de tração igual a 0,8 vezes o seu limite de escoamento  $e$ , durante o carregamento, em estágios de 5 incrementos iguais de cargas, verificaram-se e marcaram-se as fissuras que iam surgindo no tirante (figura 2).

**Figura 2 – Sistemas de carregamento e marcação das fissuras**

Ao término da aplicação do carregamento máximo, as distâncias entre as fissuras foram medidas, no eixo longitudinal, nas quatro faces do tirante, o que permitiu a realização do cálculo do coeficiente de conformação superficial. A figura 3 ilustra os tirantes ensaiados.

**Figura 3 – Ensaio de Tração Simétrica.**

De acordo com a NBR 7477 [1], o coeficiente de conformação superficial deve ser calculado pela seguinte expressão (eq. 1):

$$\eta = \frac{2,25}{\Delta l_{mean}} \quad (1)$$

Onde:

$\eta$  = coeficiente de conformação superficial

$d$  = lado da secção do tirante

$\Delta l$  = distância média entre fissuras, considerando as quatro faces.

Na tabela 4 são apresentados os valores médios dos espaçamentos entre as fissuras, para cada tipo de concreto e de barra ensaiada, assim como o coeficiente de variação (C.V.) de cada amostra.

Esta análise é efetuada quando se deseja comparar a variabilidade de várias amostras com o seu valor médio. Ressalta-se, segundo (Barbosa [13]), que se o valor for menor que 25% a amostra será aceita. Pode-se observar que os resultados obtidos possuem um coeficiente de variação inferior a 25% o que leva a sua aceitabilidade.

Após a análise global dos resultados, foram calculados os coeficientes de conformação superficial. A tabela 5 apresenta os resultados obtidos nas idades de 28 e 90 dias, respectivamente.

A NBR 7480 [18] determina que o valor mínimo para o coeficiente de conformação superficial é igual a 1,5 para as barras de aço de diâmetro nominal igual ou superior a 10,0 mm.

**Tabela 4 – Valor médio do espaçamento entre fissuras (cm) e seus respectivos coeficientes de variação (%)**

ENSAIOS REALIZADOS AOS 28 DIAS					ENSAIOS REALIZADOS AOS 90 DIAS				
Ø Da barra (mm)	Concreto convencional		Concreto com resíduos		Ø Da barra (mm)	Concreto convencional		Concreto c/resíduos	
	XM	C.V.	XM	C.V.		XM	C.V.	XM	C.V.
10.0	7.94	12.1	7.43	17.53	10.0	7.84	5.41	7.01	8.25
12.5	7.73	9.37	8.34	4.53	12.5	7.60	3.62	8.25	3.92
16.0	7.96	7.52	8.59	9.48	16.0	7.72	2.36	8.38	3.62

Onde: XM= valor médio do espaçamento entre fissuras e C.V.= coeficiente de variação da amostra

**Tabela 5 – Coeficiente de conformação superficial**

Ø Da barra (mm)	Concreto convencional (dias)		Concreto com resíduos (dias)	
	28	90	28	90
10.0	1.36	1.38	1.45	1.54
12.5	1.57	1.60	1.46	1.53
16.0	1.72	1.78	1.60	1.64

**Tabela 6- Tensão de aderência (MPa) segundo Castro [18]**

Ø (mm)	Concreto convencional		Concreto com resíduos	
	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias
10.0	4.78	5.26	3.34	3.65
12.5	4.93	5.44	2.99	3.12
16.0	4.71	5.28	2.86	3.02

Para o concreto convencional apenas as barras de diâmetro de 10,0mm não atenderam a especificação da norma nas idades 28 e 90 dias, enquanto que nos diâmetros de 12,5 e 16,0 mm este valor foi alcançado para ambas as idades.

No concreto com adição de resíduos de borracha observou-se que as barras de diâmetro de 10,0 e 12,5 mm não alcançaram o valor exigido pela Norma na idade de 28 dias, mas nos ensaios realizados aos 90 dias todas as barras atenderam ao estabelecido pela Norma.

Por meio da avaliação do afastamento e abertura das fissuras verificadas, determina-se o chamado coeficiente de conformação superficial ( $\eta_b$ ) de barras e fios de aço destinados à armadura de estruturas de concreto armado, conforme ABNT/ NBR 7477 [1], sendo que as barras lisas apresentam fissuras de maiores aberturas e mais afastadas entre si e nas nervuradas as fissuras são mais próximas e de menores aberturas.

Segundo (Castro [18]), a partir do cálculo do espaçamento médio entre as fissuras pode-se determinar a tensão média de aderência das barras de aço em concretos de diferentes classes de resistência aplicando-se a equação (2),

$$\tau_m = 0,375 \frac{f_{ct}}{X_m} \cdot \frac{\phi}{\rho} \quad (2)$$

Onde:

- $\tau_m$  – tensão média de aderência;
- $f_{ct}$  – resistência à tração simples do concreto;
- $X_m$  – distância média entre fissuras;
- $\phi$  - diâmetro da barra;
- $\rho = A_s / A_c$  (razão entre área de aço por área de concreto)

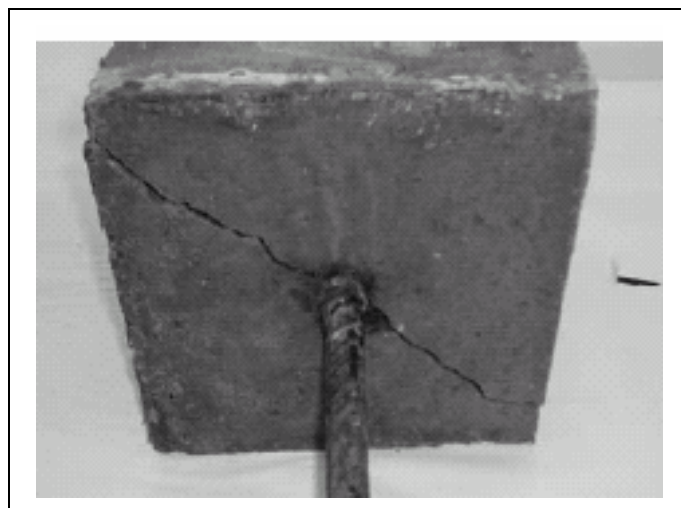
Com esta expressão é possível calcular a tensão de aderência para os dois tipos de concreto, cujos resultados estão dispostos na tabela 6.

### Ensaio "Pull-out-test"

Para melhor avaliar a aderência aço-concreto optou-se também pela realização do ensaio de arrancamento "pull-out-test" executado segundo o procedimento de ensaio normalizado pela RILEM (1973) [2].

Com a realização do ensaio de "pull-out" obteve-se o valor da tensão média de aderência, utilizando os valores correspondentes aos deslizamentos 0,01 mm (pequeno), 0,1 mm (serviço) e 1,0 mm (ruptura), nas idades de 28 e 90 dias, conforme o disposto na tabela 7.

Salienta-se que  $\tau_{m\text{ média}}$  corresponde à média das tensões de aderência para os deslizamentos de 0,01; 0,1 e 1,0 mm. A forma de ruptura predominante no concreto convencional foi por fendilhamento do corpo-de-prova (figura 4) e ruptura da barra de aço (figura 5) enquanto que no concreto com resíduos de borracha a ruptura predominante foi o deslizamento da barra de aço (figura 6).

**Figura 4 – Fendilhamento do corpo de prova**

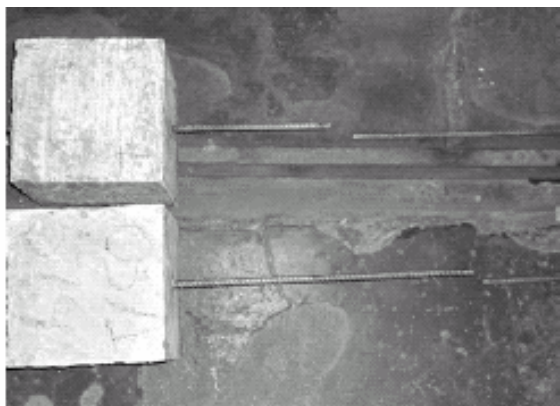


Figura 5 – Ruptura da barra de aço



Figura 6 – Deslizamento da barra de aço

Tabela 7 - Tensões de aderência ao longo do comprimento de ancoragem

Tipo de Concreto	Ø (mm)	$\tau$ (0,01) (Kgf/mm <sup>2</sup> )		$\tau$ (0.1) (Kgf/mm <sup>2</sup> )		$\tau$ (1.0) (Kgf/mm <sup>2</sup> )		$\tau$ média (Kgf/mm <sup>2</sup> )	
		28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias
Concreto convencional	10.0	1.08	1.65	2.06	2.80	3.87	4.59	2.34	3.02
	12.5	1.46	1.66	2.56	3.01	6.39	6.48	3.47	3.71
	16.0	1.63	2.48	3.93	4.67	11.75	12.20	5.77	6.45
Concreto com resíduos	10.0	0.89	0.50	1.19	0.83	2.74	2.40	1.61	1.24
	12.5	0.71	1.05	0.94	3.01	2.76	3.11	1.47	2.39
	16.0	1.18	1.83	1.59	2.42	4.65	5.53	2.47	3.26

Tabela 8 – Coeficiente de variação para as tensão da aderência

Tipo de Concreto	Ø (mm)	CV para $\tau$ 0,01 (%)		CV para $\tau$ 0.1 (%)		CV para $\tau$ 1.0 (%)	
		28 dias	90 dias	28 dias	90 dias	28 dias	90 dias
Concreto convencional	10.0	11.4	16.5	18.9	18.6	11.3	9.6
	12.5	7.0	16.8	15.1	15.5	16.5	16.1
	16.0	13.8	19.8	12.0	15.9	15.2	11.3
Concreto com resíduos	10.0	5.0	21.6	11.4	21.2	7.4	13.1
	12.5	7.8	19.7	9.3	15.5	15.7	10.9
	16.0	15.5	16.8	13.9	11.5	13.9	14.0

Realizou-se a mesma análise estatística efetuada para os ensaios de tirantes, a fim de se avaliar a qualidade dos resultados obtidos. A tabela 8 ilustra os valores obtidos.

Observa-se que todos os valores obtidos tiveram o coeficiente de variação menor que 25% o que leva a sua aceitação, segundo (Barbosa[13]).

A fim de avaliar estatisticamente o efeito da influência de determinada variável no resultado final, realizou-se também a análise de variância, para os dois tipos de ensaios.

Denomina-se de efeito significativo para os resultados obtidos experimentalmente, o valor de F tabelado menor que o F calculado. Neste trabalho utilizou-se em todos os casos o nível de significância  $\alpha = 0,05$  o que equivale ao índice de segurança de 95%. As tabelas 9 e 10 ilustram os

resultados obtidos para o ensaio de tirante e o "pull-out-test" respectivamente.

**Tabela 9 – Análise de varência para os ensaios de tirantes.**

F (fator)	fc	$\Phi$
Calculado	19.31	19.27
Tabelado	1.32	1.28

Com as forças aplicadas e os respectivos deslizamentos ocorridos obteve-se a curva deslizamento x tensão de aderência para as barras de diâmetro de 10,0 12,5 e 16,0 mm apresentadas nas figuras 7, 8 e 9 respectivamente.

**Tabela 10 - Análise de varência para os ensaios " pull-out-test"**

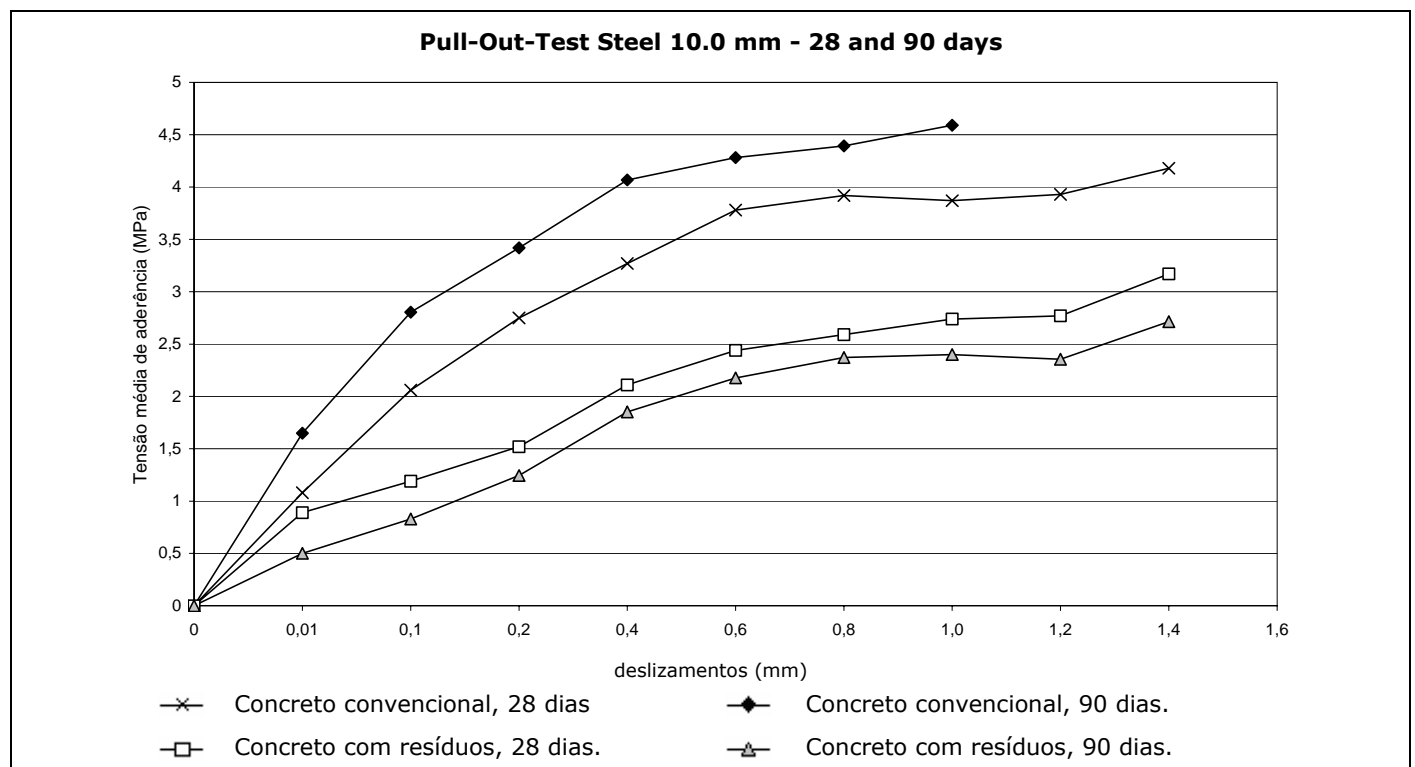
F (fator)	fc	$\Phi$
Calculado	148.36	297.31
Tabelado	1.32	1.22

Pode-se observar, para as barras de diâmetro 10,0 mm, (Figura 7), que o concreto com incorporação de fibras

apresentou um decréscimo de tensão de aderência comparado ao concreto convencional, mas a curva de tensão x deslizamento tem o comportamento bem parecido com o convencional. Os dois tipos de concreto tiveram acréscimos nas tensões de aderência de 28 para 90 dias.

Observando a evolução da tensão de aderência para as barras de aço de diâmetro de 12,5 mm, Figura 8, notamos um decréscimo no concreto com utilização de fibras comparado com o concreto convencional, comportamento similar às barras de aço de diâmetro de 10,0 mm. Vale ressaltar que houve um pequeno acréscimo na tensão de aderência das idades de 28 para 90 dias. O concreto com fibras apresentou acréscimo constante da idade de 28 para 90 dias.

As barras de aço de diâmetro 16,0 mm apresentaram o mesmo comportamento observado nos aços de diâmetro 10,0 e 12,5 mm, Figura 9, um decréscimo na tensão de aderência quando é incorporada a fibra de borracha ao concreto. Observa-se também que há um incremento na tensão de aderência conforme se aumenta o diâmetro da barra, este comportamento foi observado também por diversos pesquisadores como Barbosa[13], Ribeiro[20], Lorrain e Khélafi[21] entre outros.



**Figura 7 – Ensaio Pull-Out Ø 10.0 mm.**

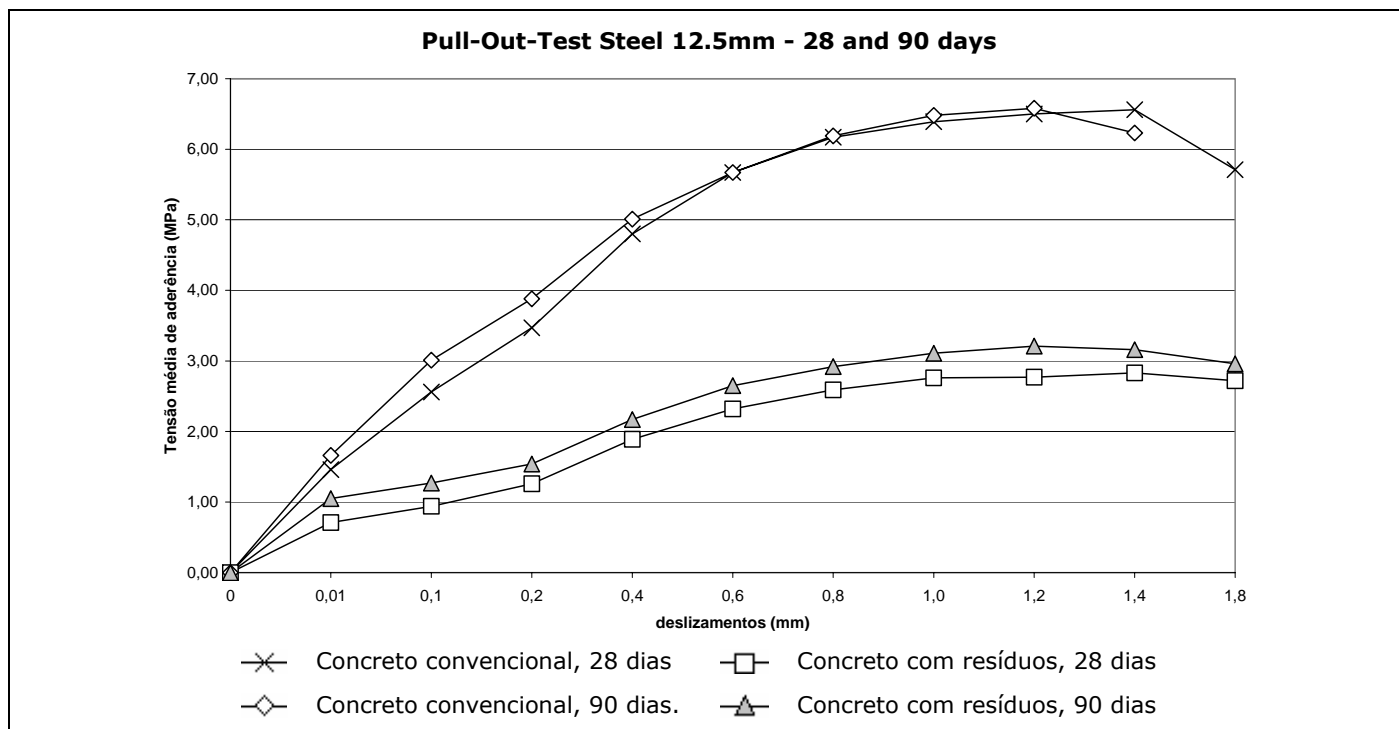


Figura 8 - Ensaio Pull-Out Ø 12.5mm.

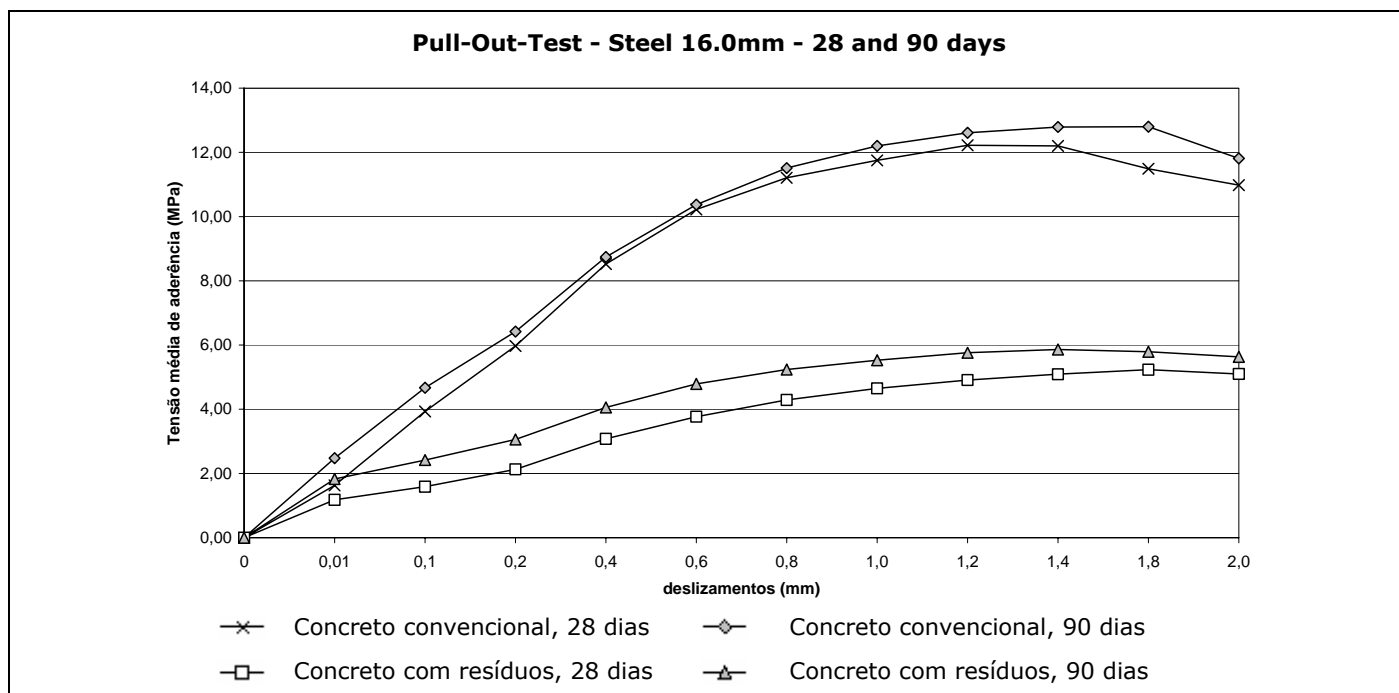


Figura 9 - Ensaio Pull-Out 16.0mm.

## 6 Conclusões

A partir da avaliação dos resultados obtidos, e sua comparação com outros encontrados na literatura, acredita-se na viabilidade de utilização do concreto com resíduos de borracha, para a composição estudada em estruturas que não apresentem solicitações de esforços elevadas. Apesar de sua baixa resistência à compressão, quando comparada a do concreto convencional, o concreto com adição de

resíduos de borracha apresenta características e desempenho aceitáveis para utilização em construções ditas "populares".

*Ressalta-se aqui que, nos ensaios de compressão axial observou-se que as amostras com incorporação de resíduos de borracha apresentaram uma ruptura menos brusca quando comparadas ao concreto convencional.*



Ao analisar o comportamento da aderência aço-concreto para os dois tipos de concreto observa-se que as curvas de tensão de aderência X deslocamento possuem o mesmo aspecto. Com isso pode-se concluir que a incorporação da fibra de borracha causa um decréscimo na tensão de aderência, mas o comportamento da evolução da mesma é muito semelhante ao concreto convencional.

Para situações onde os esforços solicitantes são significativos, é necessário melhorar a matriz do concreto, de forma que este apresente propriedades mecânicas ( $f_c$ ,  $f_t$ ,  $E_c$ ) mais elevadas, o que levará a uma melhor tensão de aderência.

O decréscimo obtido no índice de conformação superficial, quando comparado com o concreto convencional, se deve a uma menor resistência observada no concreto com resíduos de borracha. Entretanto, salienta-se que, com incorporação da fibra de borracha no concreto, há uma redução na fissuração.

A utilização da borracha no concreto é uma tentativa para atenuar o impacto que os pneus provocam ao meio ambiente e também de classificá-los como novos materiais alternativos para construção civil, poupando as jazidas naturais de areia e agregados. Isso justifica a necessidade de avanços nesta linha de pesquisa.

Observou-se que à medida que se aumenta o diâmetro da barra (para o ensaio de "pull-out-test") há um incremento na tensão de aderência, ou seja, para, barras de aço de diâmetros superiores há maiores tensões de aderência. Tal fato foi também constatado por Barbosa [13] em seu trabalho de doutorado.

#### Agradecimentos

A Holcim do Brasil, a Siderúrgica Belgo-Mineira e a Araçá Recuperadora de pneus Ltda pela doação dos materiais utilizados nesta pesquisa. Ao Laboratório CESP de Engenharia Civil de Ilha Solteira - SP pela disponibilidade para realização dos ensaios.

Ao Prof. Dr. Jorge L Akasaki pela orientação para a determinação das composições dos concretos avaliados.

## 7 Referências Bibliográficas

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7477: Determinação do Coeficiente de Conformação Superficial de Barras e Fios de Aço Destinados a Armadura de Concreto Armado*. São Paulo, 1982,
- [2] RILEM, FIP, CEB, 1973, "Essai portant sur l'adhérence des armatures du béton. 1. Essai par flexion (7-II-28D). 2. Essai par traction (7-II-128), Recommandations Provisoires. Matériaux et Constructions, (mars - avr), v. 6, n. 32, pp. 96-105.
- [3] Raghavan, D. Study of rubber filled cementitious composites. *Journal of applied Polymer Science*, v. 77, p. 934-942, 2000
- [4] Fazio, J. A., Oliveira, S. A. G. Utilização do pó de borracha de pneu reciclado em misturas betuminosas para pavimentação urbana e rodoviária. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1995
- [5] Lima I. S.; Rocha, F. S.; Ferreira, J. B. Um estudo de argamassa de cimento com adição de fibras de borracha vulcanizada para a construção civil. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 42º, 2000, CD-ROM.
- [6] TOPÇU, I. B. The properties of rubberized concretes. *Cement and Concrete Research*, v. 25, n. 2, p.304-310, 1995.
- [7] Ribeiro F.C.V.; Bolorino H; Fernandes S.A. ; "Análise da Influência da adição de pneu na deformabilidade do concreto"; In:Congresso Brasileiro do Concreto 44º, 2002.
- [8] Akasaki, J. L., Nirschl, G.C. Influência da granulometria das fibras de borracha vulcanizada em dosagens de Concreto. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 44º, 2002, CD-ROM.
- [9] Fioriti, C. F. Avaliação de Compósitos de Concreto com Resíduos de Borracha na Produção de Blocos para Alvenaria. Ilha Solteira 2002. 134 pps. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.
- [10] L.M. Acetti, K. M., Pinheiro, Tipos de fibras e propriedades do concreto cm fibras. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 42, 2000, Fortaleza. Fortaleza: Arte Interativa, 2000. CD-ROM.
- [11] Eldin N.N e Senouci A.B.. " Use of Scrap Tires in Road Construction ", *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(3), pp561-576, 1992.
- [12] Toutanji, H.A., 1996, The Use of Rubber Tire Particles in Concrete to Replace Mineral Aggregates – Departament Of Civil Engineering – University Of Puerto Rico, Mayagues, Puerto Rico. – Elsevier Science Limited -January/1996
- [13] Barbosa, M.T.G. Avaliação do Comportamento da Aderência em Concretos de Diferentes Classes de Resistência. Rio de Janeiro 2002.203p. Tese (Doutorado) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Coppe.
- [14] Barbosa, M.P. Uma Contribuição Experimental e Numérica sobre Estruturas de Concreto Armado de Elevado Desempenho: Estudo da Aderência-Ancoragem e o comportamento de Vigas Fletidas. Ilha Solteira,1998. 174pps. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-Prova Cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994.
- [16] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7222: Argamassa e Concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. São Paulo, 1994.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT,R.J. *NBR 8522 :Concreto – Determinação do Módulo de Deformação Estatística e Diagrama Tensão-Deformação – Rio de Janeiro 1984*.
- [18] Associação brasileira de normas técnicas. *NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado*. Rio de Janeiro, 1996.
- [19] Castro, P. F., 2000, Notas sobre estudo da aderência aço-concreto, UFF, Niterói, Rio de Janeiro.
- [20] Ribeiro, J. L. D., *Análise Experimental dos fatores que influenciam a aderência em barras nervuradas*. Porto Alegre 1985. 180pps.Tese (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul -RS.
- [21] Lorrain, M.;Khélafl, H. Sur la resistance de la liaison armature-beton de haute resistance. *Annales de I'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics. Série: Béton 260, n. 470, p.117-28,de*

