



EFEITO DO FATOR DE FORMA E DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA DAS FIBRAS DE AÇO NO CONCRETO FLUIDO SUBMETIDO POR TENSÕES DE TRAÇÃO

Fernanda Alves P. Góis (1); Aline da S. Ramos Barboza (2); Paulo César C. Gomes(3)

(1) Centro de Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Brasil – e-mail: fernanda_gois@hotmail.com

(2) Centro de Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Brasil – e-mail: alramos@ctec.ufal.br

(3) Centro de Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Brasil – e-mail: pgomes@ctec.ufal.br

RESUMO

O homem vem tentando desenvolver materiais que auxiliem na luta pela sobrevivência desde os primórdios da civilização. A utilização de fibras para melhorar o comportamento de materiais de construção é bastante antiga e intuitiva, como o uso de palhas em tijolos de argila e crina de cavalo para reforçar materiais cimentados. O concreto é o material de construção mais utilizado do mundo devido a sua grande versatilidade e vem sendo estudado há bastante tempo. Ainda hoje, muitas pesquisas procuram minimizar as suas deficiências, principalmente a sua baixa resistência à tração. Uma das alternativas mais usuais empregadas para melhorar este comportamento consiste na adição de fibras à massa do concreto. As fibras agem como pontes de transferência de tensões, minimizando este comportamento frágil. A qualidade dos concretos reforçados com fibras de aço depende basicamente do fator de forma e do teor das mesmas. Buscando colaborar na análise da influência das fibras adicionadas a matriz cimentícia, o presente trabalho tem como objetivo analisar a influência destes fatores, variando o fator de forma e o teor de fibras de aço. Para isso, serão ensaiados corpos-de-prova de concreto fluido de resistência usual, submetidos a tensões de tração em compressão diametral. Os resultados obtidos servirão de base para propor métodos de análise e dimensionamento de elementos estruturais executados com o novo compósito, aperfeiçoando assim este material de construção.

Palavras-chave: concreto reforçado com fibras; fibras de aço; tensões de tração; tração por compressão diametral.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais utilizados nas construções devido a sua grande versatilidade de aplicação. Estudos vêm sendo realizados com o intuito de melhorar as características deste material, surgindo assim os concretos especiais tais como o concreto de alto desempenho, de alta resistência, leve, branco e o concreto com fibras.

O concreto reforçado com fibras de aço é um material compósito formado por uma matriz cimentícia e por certa quantidade de fibras descontínuas cuja inclusão na matriz visa à melhoria das propriedades do compósito. Este passa a ser um material pseudo-dúctil, ou seja, continua apresentando uma resistência residual a esforços nele aplicados mesmo após sua fissuração (FIGUEIREDO, 2000).

Uma das limitações do concreto é sua baixa resistência à tração, que é de apenas 7 a 10% de sua resistência à compressão. Uma das alternativas mais usuais empregadas para melhorar o desempenho à tração consiste na adição de fibras à massa de concreto. As fibras agem como pontes de transferências de tensões, minimizando este comportamento frágil.

Segundo Hannant (1994), o desempenho dos compósitos reforçados com fibras é controlado principalmente pelo teor e pelo comprimento da fibra, pelas propriedades físicas da fibra e da matriz e pela aderência entre as duas fases. Assim, o material passa a ter exigências específicas no controle de dosagem, qualidade e aplicação diferentes do concreto convencional.

Entretanto, a trabalhabilidade é afetada pela adição de fibras, em proporção direta à fração volumétrica das fibras utilizadas (BENTUR; MINDESS, 2007). Concretos reforçados com altos teores de fibras produzidos de forma convencional apresentam difícil dispersão das fibras, podendo-se observar o agrupamento de fibras e consequentemente a formação de novelos. Neste contexto, a produção de concretos fibrosos fluidos propicia a combinação do desempenho mecânico fornecido pelas fibras com uma boa dispersão das mesmas, pela fluidez obtida naqueles concretos. Sendo assim, o uso do concreto fluido com adição de fibras de aço proporcionará novas possibilidades de aplicação, fazendo com que tal material seja mais eficiente, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

Sendo assim, a adição de fibras no compósito promove um incremento nas propriedades mecânicas desde que sejam evitados o mau adensamento e a incorporação de ar, atribuindo aos concretos certa capacidade resistente mesmo após as primeiras fissuras e reduzindo a fissuração. Desde caso, a resistência à tração é um parâmetro fundamental, justificando os interesses desta pesquisa.

1.1 O Concreto reforçado com fibras sob tensões de tração por compressão diametral

A adição de fibras a matrizes cimentícias conduz a um aumento na resistência do concreto à tração, em comparação com o concreto sem fibras, sendo que a ruptura dessas matrizes quando solicitadas a tensões de tração é bastante frágil e as deformações associadas são também relativamente baixas.

O comportamento à tração do concreto reforçado com fibras é fortemente influenciado pela presença das mesmas, especialmente na fase de pós-fissuração. Somente utilizando elevadas dosagens, sobretudo de microfibras (da ordem de 1,5 a 2 % ou superiores em volume) podem ser obtidos incrementos relevantes. É o caso de concretos de alto desempenho e com elevadas dosagens de fibras curtas, no qual o comportamento chega ser de um tipo enrijecido (MACCAFERRI, 2009). Essa afirmação também é relatada por Dipsia (1987), na qual a resistência à tração não aumenta significativamente quando é utilizada fibras de aço inferior a 2% de fração volumétrica, exceto quando se utiliza microsílica, dado que nestes casos a resistência da interface fibra-matriz aumenta, melhorando assim os mecanismos de reforço das fibras. Contudo, Narayana (1986) afirma que a resistência aumenta com a porcentagem, esbeltez e capacidade de fixação da fibra à matriz.

As dificuldades práticas para realizar o ensaio de tração direta levaram ao desenvolvimento de procedimentos alternativos, como por exemplo, o ensaio de compressão diametral, também chamado de Ensaio Brasileiro.

O ensaio de compressão diametral é universalmente adotado, não apenas pelo seu método simples de execução, mas pelo desenvolvimento do método teórico, que permite transformar a carga de compressão aplicada ao longo de duas linhas axiais que são diametralmente oposta em resistência à tração do material. No entanto, essa teoria foi desenvolvida, em fins da década de 40 e aplicada de

maneira muito competente pelo professor Lobo Carneiro no começo da década de 50, para materiais frágeis como o concreto.

Nos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, um corpo de prova de concreto cilíndrico é submetido a uma força de compressão aplicada em uma região reduzida, ao longo de todo o seu comprimento. A tensão de compressão produz uma tensão de tração transversal, que é uniforme ao longo do diâmetro vertical. A ruptura ocorre quando é alcançada a máxima resistência à tração na direção ortogonal a força aplicada. A partir da carga máxima, obtém-se a resistência à tração indireta do concreto reforçado com fibras. Portanto, é possível estimar a resistência à tração direta a partir da indireta. Segundo Mehta e Monteiro (2008), comparado à tração direta, o ensaio de tração por compressão diametral é conhecido por superestimar a resistência à tração do concreto em 10 a 15%.

Quando submetido a tensões de tração, o concreto convencional rompe, repentinamente, no momento em que a deformação correspondente à sua resistência for superada. É observado, experimentalmente, que o concreto reforçado com fibras continua resistindo a cargas consideráveis, com deformação bastante superior às deformações do concreto convencional. Portanto, esta afirmação é observada no Gráfico 1 do trabalho experimental realizado por Cucchiara (2004), que através de resultados de ensaios de compressão diametral que ocorre um aumento considerável de resistência à tração.

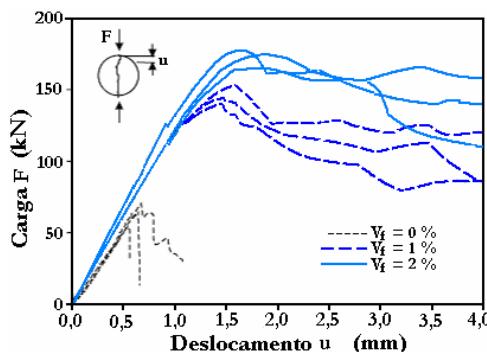


Gráfico 1 – Resultados de ensaio de compressão diametral para concreto com e sem adição de fibras (CUCCHIARA, 2004).

Mehta e Monteiro (2008) argumentam que produtos reforçados com fibras não apresentam melhora substancial na resistência à tração, se comparados a misturas similares sem fibras. No entanto, pesquisas recentes parecem indicar o contrário, mostrando que ocorre um aumento significativo da resistência à tração do concreto quando a este são adicionadas fibras. Entre eles, podem ser citados, Nanni (1988), Sharma (1986), Cho e Kim (2003), Lim e Oh (1999), Nunes et al. (2006), Fugii et al. (2008) e Yazici (2007).

O motivo para alguns autores afirmarem que não ocorre aumento na resistência à tração de CRFA pode estar ligado à constatação de que, quando as fibras eram adicionadas à mistura, ocorria incorporação de ar, o que, associado a problemas de moldagem e de distribuição inadequada das fibras na massa, tendia a se refletir negativamente na resistência à tração do material. Mais recentemente, com a evolução da tecnologia dos aditivos plastificantes e superplastificantes, está sendo possível obter misturas mais trabalháveis, com pouca incorporação de ar e melhor distribuição das fibras na massa. Desta forma, se confirmaria o efeito final positivo, em termos de acréscimo de resistência, da adição de fibras ao concreto.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar a influência do teor e do fator de forma de fibras de aço no comportamento do concreto fluido sob tensões de tração. Para isso, são produzidos corpos-de-prova e avaliados experimentalmente através de ensaios de resistência à tração por compressão diametral em idade de 28 dias.

3 METODOLOGIA

Tentando compreender melhor o comportamento dos concretos reforçados com fibras de aço, quando submetidos a cargas de tensões de tração, partiu-se para a elaboração de um programa experimental focado na análise das alterações de desempenho causadas pela variação das características do concreto. Dentre as inúmeras variáveis que influenciam no desempenho do concreto reforçado com fibras, decidiu-se concentrar a atenção em variáveis associadas às fibras, sendo mantida constante a matriz cimentícia de referência. Desta forma espera-se obter informações sobre a escolha de três diferentes fatores de forma e duas frações volumétricas, que afetam o desempenho do concreto.

3.1 Materiais

3.1.2 Fibras de Aço

As fibras de aço utilizadas neste estudo são produzidas pela empresa Fibra Steel, obtidas através do processo de trefilação a frio do aço, com resistência à tração em torno de 1000 MPa. Estas apresentam como tipo A (ancoragem nas extremidades em gancho). Quanto à forma geométrica, as fibras utilizadas apresentam três fatores de forma, de 33, 50 e 80, considerando-as em curta, média e longa, respectivamente.

3.1.2 Aglomerante

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland Composto CP II-Z-32 fabricado pela Poti, facilmente encontrado no mercado local.

3.1.3 Agregados

O agregado miúdo natural utilizado foi uma areia natural de rio, classificada como areia média, de acordo com a NBR 7211:2005 – Agregado para Concreto, cuja dimensão máxima característica é de 2,4 mm, utilizado somente este tipo de areia para a produção de todos os concretos desta pesquisa.

O agregado graúdo natural utilizado foi uma brita de origem granítica comercialmente conhecida como brita 1 ($D_{max} = 12,5$ mm), típica da região, utilizada também na produção de todos os concretos.

Na Tabela 1 são apresentadas as características da areia e da brita utilizadas e no Gráfico 2 são apresentadas suas respectivas curvas granulométricas.

Tabela 1 - Caracterização dos agregados.

Caracterização	Areia Média	Brita 12,5 mm
Massa Específica (g/cm^3)	2,611	2,685
Massa Unitária do Estado Solto (g/cm^3)	1,482	1,385
Massa Unitária do Estado Compactado (g/cm^3)	-	1,508
Módulo de Finura	2,424	-
Absorção (%)	0,644	0,625

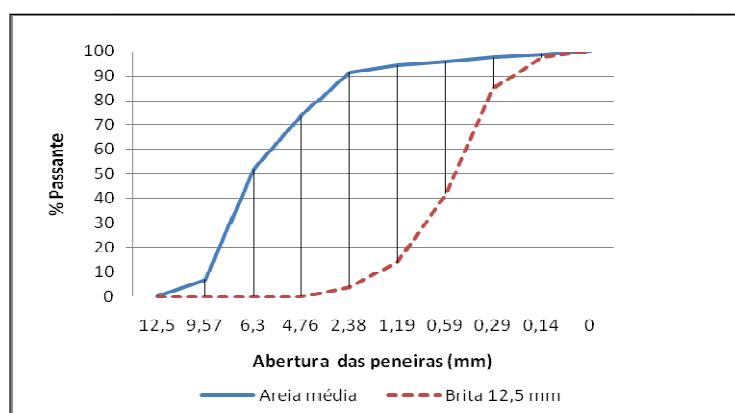


Gráfico 2 - Curvas granulométricas dos agregados.

3.1.4 Aditivo

O aditivo utilizado neste estudo foi o aditivo plastificante Centrament N3, fornecido pela empresa MC-Bauchemie Brasil Indústria e Comércio Ltda, o qual foi usado na confecção dos concretos para promover trabalhabilidade à mistura, sem a necessidade de alteração da relação água/cimento. As propriedades do aditivo plastificante, fornecidas pelo fabricante, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades do aditivo plastificante segundo informações do fabricante.

Fabricante	MC-Bauchemir
Nome	Centrament N 3
Função principal	Plastificante de pega normal
Densidade (g/cm ³)	1,17
Teor de sólidos (%)	40
Estado Físico	Líquido
Cor	Marrom
pH	7,5 a 8,5

3.1.5 Água

Na produção dos concretos foi utilizada água potável proveniente do sistema de abastecimento de água da Universidade Federal de Alagoas.

3.2 Produção dos Concretos

A etapa de definição da quantidade de aditivo plastificante e da fração volumétrica de fibras de aço a ser adicionada nos CRFA foi realizada a partir de testes experimentais baseado em dosagens de trabalhos de diversos autores. Inicialmente, o primeiro teste foi realizado adicionando 2 kg/m³ de aditivo plastificante, correspondente a 0,5% da relação da solução total de plastificante por cimento, a fim de verificar o aspecto de trabalhabilidade da mistura sem fibras, através do ensaio de abatimento do tronco de cone. O TESTE-1 obteve um resultado de abatimento de 2 cm, não apresentando trabalhabilidade desejável, pois o concreto sem fibras servirá de referência para o concreto reforçado com fibras de aço, sendo necessário partir de um concreto com consistência classificada como fluida, pois a medida que vai adicionando as fibras, diminuirá a sua trabalhabilidade. Em seguida, foi realizado o TESTE-2 com dosagem de 4 kg/m³ de aditivo plastificante, correspondente a dosagem máxima permitida pelo fabricante igual 1% (plc/c), obtendo assim um resultado de abatimento igual a 19 cm, atendendo portanto as características desejada para um concreto fluido. Porém, a partir do resultado de trabalhabilidade do TESTE-2, foi produzido um concreto de referência e seis concretos reforçados com fibras de aço, variando as fibras em duas frações volumétrica correspondendo a 0,75% e 1,5, e em três fatores de forma correspondente a 33, 50 e 80.

Para a produção dos concretos foi utilizado um misturador de eixo horizontal. Na produção dos concretos, a colocação dos materiais no misturador foi iniciada com os agregados, areia e brita, e a incorporação da água de absorção dos mesmos, sendo misturados por 30 segundos. Na sequência, o misturador teve seu movimento cessado para a colocação do cimento, na qual foram misturados por mais 30 segundos. Com a betoneira ainda em movimento, após os 30 segundos da etapa anterior, parte da água de amassamento foi adicionada (80% da relação a/c), onde foram misturados por mais 90 segundos. O processo de mistura continua com a colocação do aditivo plastificante juntamente com a parte da água de amassamento (20% da relação a/c), sendo misturados por 120 segundos. Por fim, nos concretos reforçados com fibras, após os 120 segundos do passo anterior, foram incorporadas as fibras de aço ao concreto e misturadas por mais 60 segundos.

A Tabela 3 é apresentada o resumo das dosagens dos concretos estudados.

Tabela 3 - Dosagens dos concretos produzidos no estudo.

Concreto	Cimento [kg/m³]	Água [kg/m³]	Agregados [kg/m³]		PLC [kg/m³] (plc/c = 0,4%)	Fibras [kg/m³]
			Areia	Brita		
CREF-S/F	400	200	840,72	942,5	4,0	0
CRFA-C1	400	200	840,72	942,5	4,0	59,15
CRFA-C2	400	200	840,72	942,5	4,0	118,3
CRFA-M1	400	200	840,72	942,5	4,0	59,15
CRFA-M2	400	200	840,72	942,5	4,0	118,3
CRFA-L1	400	200	840,72	942,5	4,0	59,15
CRFA-L2	400	200	840,72	942,5	4,0	118,3

Onde:

CREF-S/F: Concreto de referência sem fibras;

CRFA-C1: Concreto reforçado com teor de 0,75% de fibras curta de aço;

CRFA-C2: Concreto reforçado com teor de 1,5% de fibras curta de aço;

CRFA-M1: Concreto reforçado com teor de 0,75% de fibras média de aço;

CRFA-M2: Concreto reforçado com teor de 1,5% de fibras média de aço;

CRFA-L1: Concreto reforçado com teor de 0,75% de fibras longa de aço;

CRFA-L2: Concreto reforçado com teor de 1,5% de fibras longa de aço.

Para cada concreto produzido, foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura (10 x 20). A moldagem dos corpos-de-prova de todos os concretos produzidos, o convencional, o de referência e os reforçados com fibras de aço, foram realizados com adensamento externo por mesa vibratória. Terminada a moldagem, os corpos-de-prova eram mantidos em temperatura ambiente por um tempo de 24 horas, até serem desmoldados.

Feita a desmoldagem, os corpos-de-prova foram levados à cura em tanque de imersão, onde permaneceram submersos até a data de ensaio, em 28 dias.

3.3 Avaliação dos concretos no estado fresco

No estado fresco, foram verificados a trabalhabilidade pelo ensaio de abatimento do tronco de cone e determinados o teor de ar incorporado, em todos os concretos pesquisados neste trabalho.

A consistência dos concretos foi determinada através do ensaio do abatimento do tronco de cone, segundo a NBR NM 67 (1998) - Concreto. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, como uma forma de medir a trabalhabilidade. Salienta-se que, no presente estudo, o ensaio de abatimento de tronco de cone foi utilizado para fornecer uma indicação qualitativa da trabalhabilidade da massa fibrosa, embora que este ensaio não seja o mais indicado para quantificação da perda da trabalhabilidade em concretos reforçados com fibras de aço, optou-se pela sua realização, devido à facilidade de execução do ensaio.

O teor de ar incorporado foi determinado em todos os concretos estudados conforme a NBR 9833 (2008) – Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.

3.4 Avaliação dos concretos no estado endurecido

Para a execução do ensaio de resistência à tração foram seguidas as recomendações da NBR 7222 (1994) – Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.

Para cada tipo de concreto, aos 28 dias de idade, foram rompidos 03 corpos-de-prova cilíndricos, de 10 cm x 20 cm. Os corpos-de-prova foram ensaiados na prensa AMSLER de 200 tf.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Análise dos concretos no estado fresco

A Tabela 4 apresenta os resultados do abatimento do tronco de cone para o concreto de referência sem fibras e os concretos reforçados com fibras de aço, executados de acordo com a NBR NM 67 (1998).

Tabela 4 – Resultado do ensaio de abatimento do tronco de cone.

Concreto	Abatimento (cm)
CREF-S/F	23
CRFA-C1	21
CRFA-C2	19
CRFA-M1	19
CRFA-M2	15
CRFA-L1	17
CRFA-L2	13

Segundo Mehta e Monteiro (2008) a adição de fibras ao concreto reduz a trabalhabilidade, sendo proporcional a concentração de volume de fibras no concreto. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, é possível verificar essa afirmação, visto que a adição de fibras de aço com maior fator de forma e a maior fração volumétrica, representou a maior redução no abatimento em relação ao concreto de referência (CREF-S/F). Tais observações também foram verificadas nos estudos realizado por Yazici et al. (2007), Barros (2009), Toledo Filho et al. (2008).

Durante a realização do ensaio observou que as misturas apresentaram boa retenção de água, sem exsudação, e homogeneidade, com todos os constituintes, inclusive as fibras, permanecendo uniformemente distribuídos em toda a matriz cimentícia.

Tabela 5 - Classificação das consistências dos concretos (ANDOLFATO, 2002).

Consistência	Abatimento (cm)
Seca	0 a 2
Firme	2 a 5
Média	5 a 12
Mole	12 a 18
Fluida	18 a 25

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4, todos os concretos apresentaram deformabilidade adequada sob o seu peso próprio. Portanto, segundo a classificação apresentada na Tabela 5 por Andolfato (2002), os concretos CREF-S/F, CRFA-C1, CRFA-C2 e CRFA-M1 apresentaram consistência fluida, e os concretos CRFA-M2, CRFA-L1 e CRFA-L2 corresponderam a uma consistência mole.

A Os resultados da determinação do teor de ar incorporado no concreto fresco são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultado do ensaio de teor de ar incorporado.

Concreto	Teor de Ar Incorporado (%)
CREF-S/F	2,2
CRFA-C1	2,6
CRFA-C2	4,5
CRFA-M1	4,1
CRFA-M2	5,3
CRFA-L1	3,1
CRFA-L2	8,1

De acordo com os valores determinados, apresentados na Tabela 6, foi possível observar que, a adição de fibras de aço na matriz cimentícia influencia no incremento do teor de ar incorporado das misturas.

Portanto, a incorporação de ar nos concretos também é fortemente influenciada não somente pelas fibras de aço, como também pela presença de aditivo plastificante na mistura, observado também por Giublin et al. (2006), na qual os aditivos plastificante podem ocasionar na mistura fresca dos concretos a formação de bolhas de ar.

No geral, verifica-se que a adição das fibras de aço acarretou num maior teor de ar incorporado em todas as misturas, comparadas com a mistura sem adição de fibras. Tanto para o aumento do fator de forma quanto no aumento do volume das fibras, observou que as fibras aumentaram os valores do teor de ar. Salienta-se que os todos os resultados dos concretos no estado fresco apresentados de cada mistura foram adquiridos a partir de uma única amostra.

4.2 Resistência à tração por compressão diametral nos concretos

Como descrito anteriormente, o estudo visava analisar o efeito das variáveis de estudo ligadas à fibra de aço (fator de forma e fração volumétrica) na resistência à tração, expressa pelo ensaio de tração por compressão diametral. Portanto, na Tabela 7 são apresentados os resultados da resistência média à tração dos concretos estudados, e no Gráfico 3 estão dispostos os resultados apresentados na Tabela 6, em função da fração volumétrica e do fator de forma das fibras.

Tabela 7 – Resultados de resistência média à tração dos concretos.

Concreto	Resistência dos Concretos (MPa)		
	Tração por Compressão Diametral		
CREF-S/F	2,574		
CRFA-C1	2,582		
CRFA-C2	2,100		
CRFA-M1	2,416		
CRFA-M2	2,831		
CRFA-L1	3,012		
CRFA-L2	4,231		

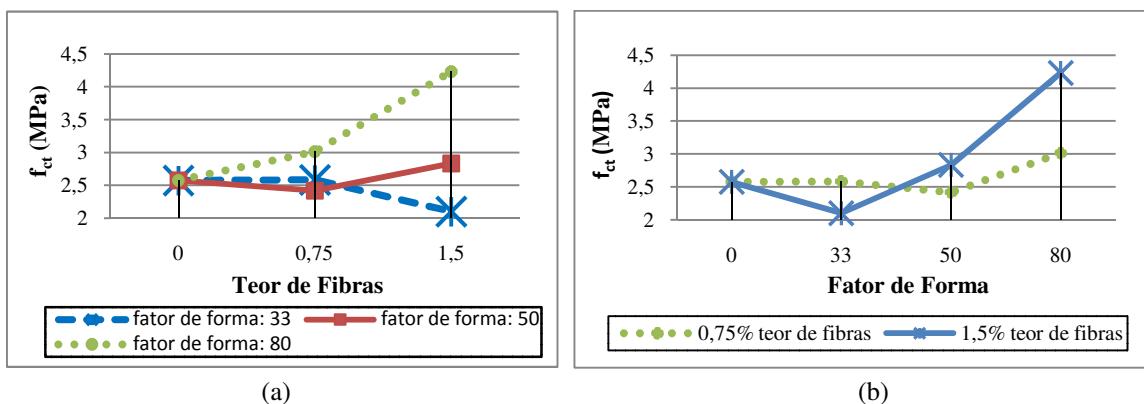


Gráfico 3 – Representação dos resultados obtidos de resistência média à tração: (a) influência do teor de fibras; (b) influência do fator de forma.

Como pode ser observado através dos resultados apresentados na Tabela 6, os concretos com incorporação de fibras alcançaram resistências médias à tração superiores ao concreto de referência sem fibras na maioria dos compósitos estudados, observado apenas um decréscimo na resistência no concreto CRFA-C2.

Para análise do efeito da variação da fração volumétrica da fibra na resistência à tração dos concretos, observa-se que apenas decréscimo no valor da resistência à tração apenas no concreto reforçado com 1,5% de fibras curtas, isto pode ter ocorrido devido à má compactação durante a realização do ensaio com o aumento do volume de fibras. Já nos demais concretos, a incorporação de fibras à matriz cimentícia causou incrementos na resistência à tração dos compósitos, em torno de 17% em relação a matriz fluida de referência sem fibras.

Para análise da influência do fator de forma nos concretos, nota-se que nos concretos com teores iguais a 0,75%, com o aumento do fator de forma, foi observado que houve um acréscimo de 0,31%, um decréscimo de 6,31% e acréscimo de 17,02%, em relação ao concreto de referência sem fibras. Já nos concretos com 1,5% de fibras, observa-se que, com o aumento do fator de forma, ocorre um

incremento na resistência, nos concretos com fatores de forma de 50 e 80, de 9,98% e 64,37%, e uma redução de 18,41% no concreto de fibras 33 de fator de forma. Observa-se que o concreto CRFA-L2 apresentou melhor desempenho quando submetido a esforços de tração, em comparação com as outras misturas. Isto, provavelmente, deve-se ao fato de que, aumentando o fator de forma e o teor das fibras, a probabilidade das fissuras serem interceptadas por estas é maior, e por consequência, a costura promovida pelas fibras se torna mais eficiente, reduzindo a abertura das fissura, aumentando assim a sua resistência à tração.

Segundo Balagaru e Shah (1992), volumes de fibras abaixo de 2,0% não proporcionam um grande aumento na resistência à tração por compressão diametral, exceto quando é feito usando fumo de sílica. Contrariando tal afirmação através dos resultados da Tabela 6 apresentado, observa-se que em quase todos os concretos estudados houve um aumento da resistência à tração em relação à matriz de referência sem adição de fibras, nos compósitos contendo apenas 0,75% e 1,5% de teores de fibras de aço. Portanto, o aumento da resistência à tração provocada pelas fibras de aço em ensaios de compressão diametral é observado em diversas pesquisas. Visto que, as fibras de aço têm como objetivo principal aumentar a resistência à tração do concreto, que pode ter sido comprovado na maioria das misturas produzidas, justificando o objetivo principal desta pesquisa.

5 CONCLUSÕES

Este estudo buscou esclarecer como fibras de aço com características diferentes, disponíveis no mercado, se comportam. Além disso, buscou determinar quais as fibras mais eficientes para a melhoria na resistência à tração. Pode-se afirmar que:

- A incorporação das fibras interfere nas propriedades dos compósitos no estado fresco e endurecido. No estado fresco, incorporação de fibras provoca perdas significativas na trabalhabilidade e no teor de ar incorporado nas misturas. No estado endurecido, os ensaios realizados confirmaram que o concreto reforçado com fibras de aço com maior fração volumétrica e maior fator de forma promoveu melhores condições de aderência na matriz, desse modo, ocasionando ganhos significativos na resistência à tração com relação ao concreto fluido de referência sem fibras.
- O uso de teor de fibras mais elevados, apesar de interferir na trabalhabilidade das misturas, provoca incrementos significativos no desempenho dos compósitos, especialmente nos teores 118 kg/m³. Em termos da resistência à tração por compressão diametral, durante a realização do ensaio observou-se uma ruptura brusca nos concretos sem adição de fibras, o que de fato, as fibras influenciam nesse comportamento, minimizando e interceptando as fissuras durante a aplicação de qualquer carregamento.
- O fator de forma das fibras de aço passa a ser um parâmetro bastante influente, sendo que os compósitos com fibras de fator de forma maior tendem a apresentar melhores resultados nas resistências à compressão e à tração.

6 REFERÊNCIAS

ANDOLFATO, R. P. **Controle tecnológico básico do concreto.** Universidade Estadual Paulista. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. 33 f. Ilha Solteira, São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: **Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro. 1994

_____. NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro. 1998

_____. NBR 9833: **Concreto fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro. 2008

BALAGURU, P. N., SHAH, S. P. **Fiber-Reinforced Cement Composites**. McGraw-Hill International Editions, 1992.

BARROS, A. R. **Avaliação do comportamento do concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço**. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas) –Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. London and New York: Modern Concrete Technology Series, 2 ed. 2007.

CHANH, N. V. Steel fiber reinforced concrete. In: **Joint Seminar on Concrete Engineering**. Ho Chi Minh City University of Technology, 2005. p. 108-116.

CHO, S.; KIM, Y. Effects of Steel Fibers on Short Beams Loaded in Shear. In: **ACI Structural Journal**, 2003. v. 100, n. 6, p. 765-774.

CUCCHIARA, C.; MENDOLA, L. L.; PAPIA, M. **Effectiveness of stirrups and steel fibres as shear reinforcement**. Cement and Concrete Composites, v. 26, n. 7, p. 777-786, Oct. 2004.

DIPSIA, M. **Mechanical properties of superplasticized steel fibre high strength semi-lightweight concrete**. M.S. Thesis, Rutgers University, Nwe Brunswick, New Jersey, 1987. 128 p.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras de Aço**. 2000. 69 p. Boletim Técnico, Série BT/PCC/260– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

HANNANT, L. **Fibre-reinforced Cements and Concretes** – London, 2ed. – 518p. 1994

GUIBLIN, C. R.; SAITO, J.; MANCINI FILHO, V.; MULLER NETO, J. Pavimento de concreto com fibras de aço utilizado na ampliação do Terminal de Contêineres de Paranaguá. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 48., 2006, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2006. p. 16

LIM, D. H.; OH, B. H. Experimental and theoretical investigation on the shear of steel fibre reinforced concrete beams. In: **Engineering Structures**. 1999, v.21. n. 10. p. 937-944.

MACCAFERRI, 2009. **Fibras como Elemento estrutural para reforço de Concreto**. Disponível em: <http://www.macaferra.com> Acesso em: 10/05/2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Ibracon, 2008. 674p.

TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; VELASCO, R. V. Análise experimental e numérica do comportamento térmico de concretos reforçados com fibras de aço. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 50., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador: 2008. p. 17

YAZICI, S.; GOZDE, İ.; VOLKAN, T. Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC. In: **Construction and Building Materials**, 2007. v. 21, p. 1250-1253.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq, ao LEMA do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas (NPT) da Universidade Federal de Alagoas, bem como os funcionários pela sua presteza e colaboração, à fábrica de aditivos MC-Bauchemie e à fábrica de fibras Steel Fibras.