

Influência da adição de fibras metálicas em concreto autoadensável no estado endurecido

Tiago Cristofoli⁽¹⁾, Gisele Catrine⁽¹⁾, Bernardo F. Tutikian⁽¹⁾
e Roberto Christ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.5369>

RESUMO

A utilização do concreto autoadensável reforçado com fibras (CAARF) permite um grande avanço nas propriedades do concreto convencional. As fibras são adicionadas à mistura com a finalidade de melhorar suas propriedades mecânicas no estado endurecido. Esse compósito apresenta uma dispersão mais uniforme das fibras dentro dos elementos estruturais devido à eliminação de compactação e vibrações, o que pode causar a segregação e orientação das fibras. Assim, é possível executar elementos estruturais de espessuras reduzidas com alta qualidade, majorando sua resistência à tração na flexão e suavizando a curva de tensão-deformação quando comparados ao concreto sem incorporação de fibras. De modo a verificar a influência da utilização da adição de fibras nas propriedades do material, foi dosado um traço de concreto autoadensável com fibras de aço de três fatores de forma, nas porcentagens de 0,25%, 0,5% e 1,0%, em relação ao volume total da mistura. Após a avaliação dos resultados foi possível afirmar que a mistura com melhores resultados possui uma taxa de 1,00% da fibra com maior fator de forma, apresentando perda de 9,1% na resistência à compressão, aumento de 261% da resistência à tração na flexão e mais de 31 vezes o acréscimo do valor de fator de tenacidade, em relação à mistura referência.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Autoadensável. Macrofibras metálicas. Fator de forma. Tenacidade.

1.- INTRODUÇÃO

O concreto é caracterizado como material com baixa resistência aos esforços de tração, apresentando ruptura frágil. Dessa forma, são incorporadas barras de aço nas zonas tracionadas dos elementos, absorvendo esses esforços. Em meio às dificuldades enfrentadas durante a execução das estruturas de concreto densamente armadas, surgiu a necessidade de um concreto com alta resistência e alta trabalhabilidade, sendo assim, criado o concreto autoadensável [1].

Uma das principais características do concreto autoadensável é a sua capacidade de fluir entre as armaduras e obstruções, fornecendo de forma homogênea a trabalhabilidade necessária para uma boa execução [2]. Buscando aprimorar as características básicas do concreto autoadensável, a adição de fibras metálicas propõe o aumento de sua resistência à tração, proporciona diminuição de fissuras decorrentes da retração do concreto, resistência a corrosão e por vezes minorando os custos finais em uma edificação. [3]

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o resultado da incorporação de fibras metálicas com três diferentes dimensões, na matriz de um concreto caracterizado como autoadensável. Foram analisados o incremento de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e a tenacidade, ambos em relação ao traço de referência.

2.- CONCRETO AUTOADENSÁVEL COM FIBRAS

Os avanços na tecnologia do concreto permitem não somente aumentar a resistência do concreto de forma confiável, mas também introduzir no projeto de estruturas a contribuição do concreto em tração, proporcionada pelas fibras de aço. Esse adendo nas propriedades conduz uma forte melhora do detalhamento das armaduras do reforço e pelos requisitos sobre a cobertura mínima. Assim, novas oportunidades são oferecidas no projeto, devido à utilização de misturas autoadensáveis. [4][5]

Atualmente há uma procura maior em realizar a adição de fibras no concreto autoadensável em elementos pré-fabricados com o objetivo de se obter peças com qualidade superior, atribuídas às características do material. Essa também utilizada em regiões com risco de ocorrência de sismos, onde as estruturas são densamente armadas, procurando maior segurança [6]. Dentre as propriedades que se deseja melhorar, pode-se citar a estabilidade, a prevenção de fissuras e o aumento da tenacidade do concreto no estado endurecido. [7]

Estudos voltados às misturas de concreto com adição de fibras demonstraram claramente a grande vantagem de incorporar fibras em concretos autoadensável. De maneira geral, os compósitos apresentaram uma dispersão mais uniforme das fibras dentro dos elementos estruturais, em função da eliminação de compactação e vibrações para a estabilidade reológica da matriz do CAA. [4][8][9]

3.- MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Tendo em vista os objetivos propostos, foram ensaiados 10 proporcionamentos com características distintas, sendo que na mistura classificada como “referência” não houve a adição de fibras. Nas demais composições foram adicionadas, separadamente, três tipos de fibras com fatores de forma diferentes: FF4, FF3 e FF3N. As misturas se dividem em três porcentagens: 0,25%, 0,50 e 1,00%. Essas proporções apresentam o volume de fibras em relação ao total da mistura. Sendo empregado, para a geração da matriz, um único proporcionamento de concreto autoadensável, com resistência de 60 MPa. Definidas as misturas, foi realizada 2 misturas para cada proporcionamento em cada ensaio realizado

3.1.- Cimento e Pozolana

O cimento empregado é do tipo CP –II F - 40, com massa específica de 3,09 kg/dm³. A adição de finos realizada com o uso de pozolana cinza leve, sendo massa específica é igual a 2,30 kg/dm³.

3.3.- Agregados

O agregado miúdo e média é de origem quartzosa do tipo areia fina e areia regular, natural. Suas massas específicas são de 2,65kg/dm³ e 2,63kg/dm³, respectivamente. O agregado graúdo, do tipo brita de basalto, se encaixa na faixa granulométrica de 2,4 a 9,5 mm e sua massa específica é de 2,85kg/dm³.

3.5.- Aditivos Químicos

O aditivo plastificante multifuncional utilizado é denominado Muraplast FK 116 e o aditivo superplastificante utilizado é denominado Power Flow 1180, ambos são produzidos e fornecidos pela empresa MC- Bauchemie.

3.6.- Fibras Metálicas

As fibras metálicas utilizadas foram fornecidas pela empresa Maccaferri S.A. As fibras Wirand, com aço de baixo teor de carbono, trefilado a frio. Possuem a característica de atuar como armadura tridimensional que redistribui as tensões aplicadas sobre o elemento estrutural aumentando a sua resistência. São produzidas com aço que apresenta resistência à tração superior a 1100 MPa, deformação na ruptura inferior a 4% e módulo elástico de 210 GPa. Mais propriedades das fibras estão descritas no Quadro 1, sendo sua visualização apresentada na Figura 1.

Quadro 1. Propriedades físicas das fibras empregadas.

<i>PROPIEDADES FÍSICAS</i>	<i>FF3</i>	<i>FF4</i>	<i>FS3N</i>
Fator de forma	67	80	44
Tolerância do valor individual da relação L/d (%)	15	15	15
Tolerância do valor médio da relação L/d (%)	7,5	7,5	7,5
Diâmetro (mm)	0,75	0,75	0,75
Tolerância do valor individual do diâmetro (%)	10	10	10
Tolerância do valor médio do diâmetro (%)	5	5	5
Comprimento (mm)	50	60	33
Tolerância do valor individual do comprimento (%)	5	5	10
Tolerância do valor médio do comprimento (%)	5	5	5

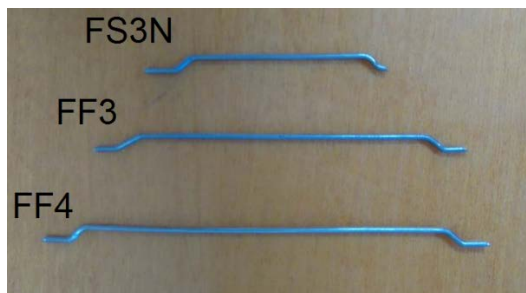


Figura 1. Fibras Empregadas no estudo.

4.- PROPORCIONAMENTO E MISTURA DE MATERIAIS

A mistura utilizada como concreto de referência segue o proporcionamento comercial empregado por concreteiras da Região Sul do Brasil. A matriz cimentícia possui peso específico de 2358 kg/m³, e apresentou resistência à compressão aos 28 dias de idade igual a 63,0 MPa. A dosagem, junto com o traço unitário, é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Proporcionamento dos materiais.

MATERIAL	DOSAGEM (kg/m ³)	TRAÇO UNITÁRIO
Cimento	337	1
Pozolana	181	
Areia fina	270	0,52
Areia média	405	0,78
Brita (2,4 a 9,5 mm)	937	1,81
Água	222	0,429
Muraplast FK 116	2,07	0,004
Power Flow 1180	4,14	0,008

A mistura dos materiais foi realizada utilizando a betoneira planetária do Laboratório de Materiais de Construção – LMC/UNISINOS, como mostra a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Inicialmente foi acrescentado o agregado graúdo, seguido por 1/3 da quantidade total de água. Logo após, foi adicionado o cimento e a cinza volante, acrescentando mais 1/3 da água. E, por fim, os agregados miúdos e o restante da água. Quando a mistura apresentou homogeneidade, foi adicionado o aditivo polifuncional, responsável por retardar o tempo de pega e aumentar o abatimento. Antes da adição de fibra, foi determinada a consistência do concreto em seu estado fresco. Para isso foi utilizado o método descrito na NBR NM 67 [10]. O abatimento do concreto obtido foi igual a 140 mm, como mostra a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**



Figura 2. Betoneira utilizada na mistura.



Figura 3. Ensaio de abatimento de tronco de cone.

Logo após, foi adicionado o aditivo superplastificante, o qual conferiu as características de fluidez à mistura. Foi realizada determinação do espalhamento e do tempo de escoamento pelo Método de Abrams. A determinação desses dois parâmetros foi realizada conforme a parte 2 da NBR 15823 [11]. Esse ensaio visou validar a característica de autoadensável à mistura referência. As fibras metálicas foram acrescentadas à mistura, adicionadas em pequenas porções, com o objetivo de garantir a melhor distribuição no volume de material. Foi realizado esse procedimento para cada uma das proporções de fibras, separadamente. Para os ensaios de resistência à compressão axial foram moldados corpos de prova cilíndricos de diâmetro igual a 100 mm e altura igual a 200 mm. Para os ensaios de tração na flexão foram moldados corpos de prova prismáticos de dimensões iguais a 100x100x350 mm. A moldagem e cura dos corpos de prova seguem as recomendações conforme constam na NBR 5738 [12], não sendo realizada vibração ou apiloamento, como mostra a Figura 4, sendo realizado o arrasamento dos corpos de provas posteriormente.

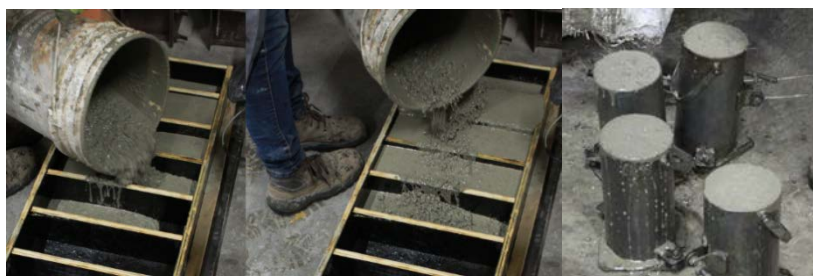


Figura 4. Moldagem dos corpos de prova.

4.- ENSAIOS EM ESTADO ENDURECIDO

Os ensaios em estado endurecido foram realizados aos 28 dias de cura, com a utilização da Prensa Shimadzu do LEME – Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, da UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Brasil.

4.1.- Resistência à Compressão Axial

A principal propriedade do concreto é a sua resistência à compressão, sendo esse um fator que caracteriza o seu melhor desempenho. Esse fator é obtido através de ensaios padronizados de carregamento rápido, aos 28 dias de idade. [13] Os corpos de prova cilíndricos foram moldados e ensaiados conforme consta na NBR 5738 [12] e na NBR 5739 [14], respectivamente. [1]

4.2.- Resistência à Tração na flexão

Devido à dificuldade da aplicação de tração uniaxial em um corpo de concreto, a determinação da resistência à tração do concreto é efetuada por métodos indiretos [15]. O ensaio mais comumente realizados para a determinação da resistência à tração do concreto na flexão, com carregamento nos terços de vão, é conforme ASTM C78 [16] ou, no Brasil, conforme NBR 12142 [17], a qual foi utilizada como referência para os ensaios deste trabalho. [6]

4.3.- Tenacidade e resistência à flexão

A determinação da tenacidade e a resistência à flexão foi realizada por meio de ensaio de flexão em corpos de prova prismáticos, sendo realizado segundo os preceitos descritos pela Japan Society of Civil Engineers – JSCE – SF4 [18], porém o aparato utilizado para realizar a medição dos deslocamentos foi adaptado. O método descrito na JSCE-SF4 [18], de determinação da tenacidade, é o mais utilizado no Brasil [19]. O carregamento foi realizado com velocidade de 0,5 mm/min, conforme ilustra a Figura 5.



Figura 5. Ensaio de flexão.

A partir dos dados obtidos durante o ensaio, pode-se traçar a curva carga vs deslocamento, sendo a área formada abaixo dessa um dos valores utilizados para a determinação da tenacidade. Dessa curva também se obtêm valores máximos de carga suportada pelos corpos de prova, sendo esse um parâmetro que será utilizado para avaliar comparativamente o desempenho das fibras e de seus proporcionamentos.

6.- ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1.- Resistência à compressão axial

Os resultados potenciais dos ensaios, de cada mistura, estão apresentados na Figura 6.

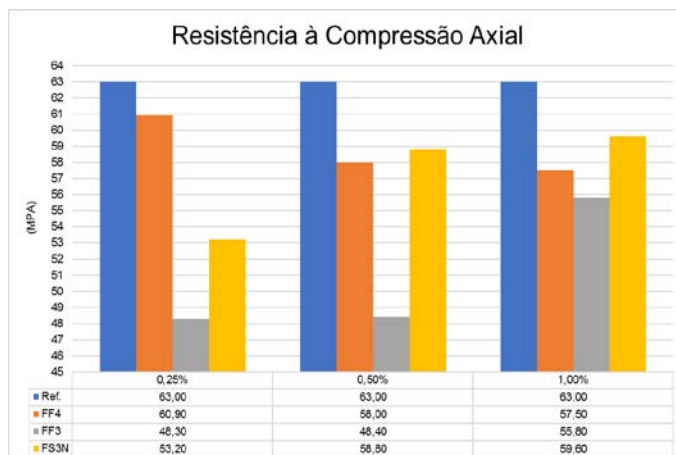


Figura 6. Gráfico dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

O resultado de resistência à compressão potencial obtido na amostra referência foi igual a 63,0 MPa, notando-se uma diminuição dos resultados com a adição de fibras. Porém, não foi possível notar um comportamento padrão em relação ao tamanho ou tipo de fibra.

6.2.- Resistência à tração na flexão

A partir dos valores apresentados no ensaio de resistência à tração na obteve-se as tensões resultantes dos corpos de prova, valores apresentados na Figura 7.



Figura 7. Gráfico dos valores potenciais obtidos no ensaio de tração na flexão.

Influência da adição de fibras metálicas em concreto autoadensável no estado endurecido

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

Pode-se perceber que o tamanho e o percentual da fibra são fatores determinantes na resistência à tração na flexão do concreto autoadensável reforçado com fibras. Quanto maior o tamanho e o percentual, maior também foi a resistência à tração na flexão obtida.

6.3.- Fator de tenacidade

A partir do ensaio de flexão realizado, podem-se traçar as curvas F vs d para cada corpo de prova, após isso reuniu-se todas as curvas em um único gráfico, como mostra a Figura 8. Utilizou-se essas curvas para a determinação do fator de tenacidade, que foi obtido conforme descrito na JSCE – SF4 [18].

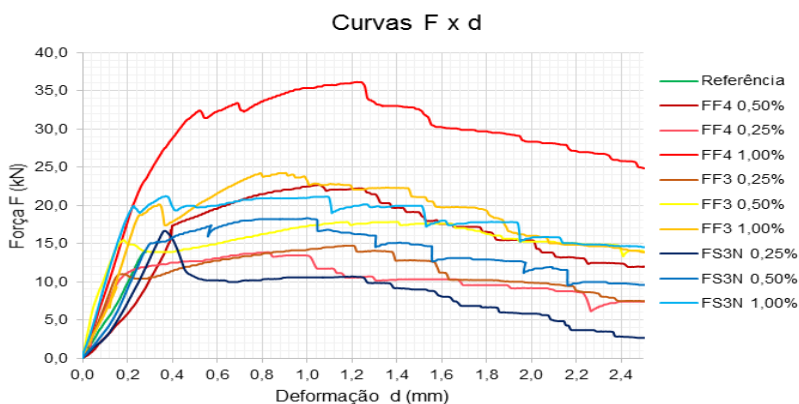


Figura 8. Curva de Força (kN) x deslocamento (mm).

Após traçar os gráficos e a obtenção da área referente a T_b calculou-se os valores para o fator de tenacidade. Os resultados obtidos das amostras apontaram que eles são maiores conforme o teor empregado e o tamanho da fibra, como mostra a Figura 9

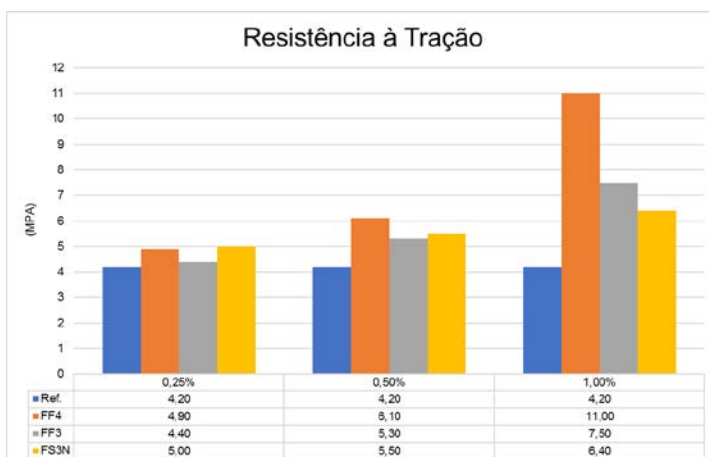


Figura 9. Gráfico com os valores obtidos de Fator de Tenacidade.

Devido ao comportamento frágil da matriz cimentícia, a amostra da mistura referência apresentou fator de tenacidade igual a 0,3 MPa, sendo que o próximo valor maior foi o da mistura FS3N 0,25%, de 2,7 MPa. Isso mostra que o acréscimo das fibras metálicas ao concreto resultou em um fator de tenacidade, no mínimo, 9 vezes maior.

7.- CONCLUSÕES

Os valores obtidos de resistência à compressão pelos exemplares não apresentaram um comportamento relacionado com o percentual, com os comprimentos ou com o número de fibras adicionadas, sendo notada apenas o decréscimo de resistência em relação à mistura referência, com a incorporação das fibras.

Avaliando-se os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão nota-se que ao elevar o comprimento da fibra e o percentual empregado, maior foi a resistência obtida.

O fator de tenacidade apresentou comportamento similar aos resultados de resistência à tração na flexão, sendo maior conforme acrescentado o percentual e o comprimento da fibra empregada.

Após a avaliação dos ensaios destas amostras em estado endurecido, pode-se afirmar que a mistura com melhores resultados é a que possui 0,50% da fibra FS3N. A mistura FS3N 0,50% apresentou perda de apenas 3,5 % na resistência à compressão, aumentou 31% da resistência à tração na flexão e aumentou mais de 14 vezes o valor do fator de tenacidade, em relação à mistura referência. Contudo, esse trabalho mostra que o concreto autoadensável com a incorporação de fibras metálicas une a sua aplicabilidade em estado fresco e garante acréscimos de resistência à tração na flexão e fator de tenacidade quando comparado a um concreto sem esse reforço.

REFERÊNCIAS

- [1] RECENA, F.A.P. Dosagem e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland. 2. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- [2] TUTIKIAN, B. F.; CHRIST, R. Prática Recomendada Ibracon: Concreto Autoadensável. Comitê Técnico CT-202. São Paulo. 2015. ASSOCIAÇÃO
- [3] FIGUEIREDO, A. D. Concreto reforçado com fibras. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo. 2011.
- [4] FERRARA, L. When using mixtures increases the viscosity to improve the uniformity of fiber distribution of the fiber reinforced concrete. AM Brandt (Ed.), Et al., Proceedings of BMC7, sétimo simpósio internacional sobre "frágeis Matrix Composites", Varsóvia, Polônia, 13-15 outubro de 2003 Zturek RSI e Woodhead Publ. 2003.
- [5] FERRARA, L., Y. D. PARK, and S. P. SHAH, A Method for Mix-Design of Fiber-Reinforced Self-Compacting Concrete, Cem. Concr. Res., Vol. 37, pp. 957 - 971, 2007.

- [6] MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. Concreto microestrutura, propriedades e materiais. 4 ed. São Paulo, Ibracon, 2014.
- [7] EUROPEAN FEDERATION FOR SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS (EFNARC). Specification and guidelines for self-compacting concrete. In: EFNARC. Maio, 2005.
- [8] FERRARA, L.; MEDA, A. The relationship between the distribution fiber, workability and mechanical properties of CRFA applied to roof elements precast Mater Struct. 2006.
- [9] ÖZYURT, N.; MASON, T. O.; SHAH, S. P. The correlation of the fiber dispersion, rheology and mechanical performance CRFs. Cem Concr mp, 29 . 2007.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM 67 – Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15823: concreto auto-adensável. Rio de Janeiro, 2010.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- [13] ARAÚJO, J. M. Curso de Concreto Armado - Vol. 1. Ed. DUNAS, Rio Grande, 2014 (4ª edição).
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- [15] NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2º Edição. Brookman. 2013.
- [16] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C 78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). In: Annual Book of ASTM Standards, 2015.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.
- [18] THE JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, “JSCE-SF4: Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete”, Concrete library of JSCE, Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete, n. 3, 1984.
- [19] QUINTA, M. T. Ensaios de Tenacidade para Concretos Reforçados com Fibras, Boletim da ANAPRE, São Paulo, 2009.