

Estudo da viabilidade de adição de fibras de aço no concreto exposto ao ambiente marítimo: Análise da melhoria das propriedades de resistência

Maisson Tasca¹; Alessandra Migliorini²; Bianca P. M. Ozório³; André T. C. Guimarães⁴.

¹Engenheiro, Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSM, Santa Maria, RS - maissontasca@yahoo.com.br

*²Engenheira, Mestranda em Engenharia Oceânica, FURG, Rio Grande, RS
alessandramigliorini@gmail.com*

³Engenheira, Mestre em Engenharia Civil, professora da Escola de Engenharia; FURG, Rio Grande, RS - Bianca@net.crea-rs.org.br

⁴ Engenheiro, Doutor em Engenharia Civil, professor da Escola de Engenharia, FURG, Rio Grande, RS - atcg@vetorial.net

RESUMO

O concreto apresenta algumas propriedades de materiais frágeis, como a baixa resistência à tração e à deformações. Como forma de suprir essa deficiência surge a possibilidade de adicionar fibras de aço no interior da matriz de concreto. Os teores de fibra estudados foram de 30, 60 e 90 quilogramas de fibras de aço por metro cúbico de concreto. A partir da confecção desses concretos, foram moldados corpos de provas cilíndricos e prismáticos, que posteriormente foram submetidos aos ensaios normatizados de resistência do concreto endurecido. Os ensaios destrutivos de concreto executados neste estudo foram: compressão axial, tração por compressão diametral e tração na flexão. Os corpos de prova foram ensaiados em duas idades distintas, sendo aos 28 e 120 dias. Enfim, a viabilidade da adição de fibras de aço é comprovada pela melhoria das propriedades de resistência.

PALAVRA CHAVE: Concreto, fibras de aço, resistência

ABSTRACT

The concrete presents some peculiar properties of fragile materials, as the low capacity and traction and deformation. As form of supplying that deficiency, the possibility of adding fibers of steel inside the concrete matrix appears. The fiber content studied were of 30, 60 and 90 kilograms of fibers of steel for cubic meter of concrete. From the making of those concretes, moulded bodies of proofs cylinders and prismatic were made, that later were submitted to the established rehearsals of resistance of the hardened concrete. The destructive rehearsals of concrete executed in this study were: axial compression, traction for diametrical compression and traction in the movement. The proof bodies were rehearsed in two different ages, at 28 and 120 days. Finally, the viability of the addition of fibers of steel was proven by the improvement of the resistance properties.

KEY WORD: Concrete, fibers of steel, resistance.

1 - INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais popularizado no setor da construção civil, por apresentar características benéficas na execução de inúmeras obras no setor, como excelente resistência à água, resistência ao fogo e durabilidade, quando exposto a ambientes agressivos. No entanto, o concreto apresenta também algumas características de material frágil, suscetível à fissuração e ruptura. Sendo assim, apresenta-se a possibilidade de adicionar fibras de aço na matriz de concreto de modo a corrigir essa deficiência [8].

Com o decorrer dos anos as estruturas de concreto expostas ao ambiente marítimo sofrem com a agressão das intempéries químicas e físicas geradas pelo oceano, ocasionando um desgaste no material e conseqüentemente uma diminuição da sua vida útil. Devido ao elevado custo no reparo das patologias e reposição das estruturas, se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias dos materiais de modo a aumentar sua durabilidade [12]. O estudo desenvolvido tem como referência o melhoramento das propriedades do concreto utilizado na confecção do Tetrápode, ou seja, bloco de concreto pré-moldado utilizado no Molhe Leste da Barra de acesso ao canal do porto de Rio Grande, obra situada no município de São José do Norte – RS.

A fragilidade e baixa resistência à deformação é uma característica peculiar dos materiais compostos por matrizes cimentíceas como é o caso do concreto. Para solucionar essa limitação desenvolveu-se a possibilidade de adicionar fibras de aço como reforço, alterando as características iniciais das matrizes de concreto.

Por possuir um alto módulo de elasticidade, elevada resistência à tração e ductilidade, as fibras de aço proporcionam um aumento na tenacidade nas estruturas de concreto, melhorando sua resistência ao impacto e à fadiga, contribuindo para o aumento da durabilidade dessas estruturas[10]. Por essas razões, o presente trabalho busca identificar melhorias nas características dos concretos através da adição das fibras, com intuito de avaliar o desempenho dessas estruturas. Deste modo, para identificar esses ganhos foram realizados experimentos normatizados a partir da moldagem de corpos de prova cilindros e prismáticos, constituídos de concreto com adição de fibras de aço, que posteriormente foram submetidos aos ensaios de resistência de compressão axial, compressão diametral e resistência à tração na flexão, com o intuito de avaliar a resistência desse concreto reforçado e comparar os resultados encontrados com um concreto de referencia, sem fibras de aço, submetido aos mesmos esforços.

2 - METODOLOGIA

Como forma de avaliar qualitativamente e quantitativamente o desempenho das propriedades de resistência do concreto reforçado com fibra foram produzidos quatro traços de concreto, sendo três deles com adição de diferentes teores de fibra de aço e um concreto de referência sem fibra de aço. A confecção do concreto foi realizada com o auxílio de uma betoneira de queda livre, sendo que as propriedades do concreto fresco foram obtidas através do ensaio de abatimento do tronco de cone [6], e pelo ensaio da densidade absoluta do concreto [5]. Posteriormente foram moldados os corpos de prova cilíndricos e prismáticos para a realização dos ensaios destrutivos de concreto endurecido.

A avaliação das propriedades de resistência do concreto reforçado com fibra de aço foi obtida através do ensaio de compressão axial, do ensaio de tração por compressão diametral e o ensaio de tração na flexão. Como forma de analisar o desempenho de resistência optou-se pela execução dos ensaios em idades diferentes do concreto, aos 28 dias e aos 120 dias. Dessa

forma, a partir dos resultados obtidos é possível avaliar o desempenho de resistência do material em estudo e suas aplicações. Salienta-se que o ensaio de tração na flexão foi executado apenas aos 120 dias de idade.

2.1 Materiais

2.1.1 Concreto

O concreto referido neste estudo é o Concreto de Cimento Portland, definido como sendo o material resultante da mistura de determinadas proporções de um aglomerante, o cimento Portland, com um agregado miúdo, a areia, um agregado graúdo, geralmente brita e água. Pode-se ainda, se necessário, a utilizar aditivos. A partir de uma mistura adequada dos agregados, do cimento e da água se obtém um material heterogêneo com propriedades uniformes [11].

2.1.2 Fibra de Aço

O tema desse estudo é o concreto reforçado com fibras de aço. Assim, é de suma importância o conhecimento das características geométricas, do processo produtivo e das propriedades físicas, químicas e mecânicas das fibras de aço. Tais fibras de aço são elementos descontínuos produzidos com variações de formatos, dimensões e tipos de aço.

As fibras de aço utilizadas na matriz de concreto para o desenvolvimento deste trabalho, de acordo com o catálogo do fabricante possuem as seguintes características:

- Fibra utilizada nesta pesquisa: FF4 (código comercial)
- Coeficiente de forma: $L/D = 80$
- Comprimento L : 60 mm
- Diâmetro: 0,75 mm
- Resistência a tração : >1.100 MPa
- Deformação de ruptura: $< 4\%$
- Módulo elástico: 210.000 MPa.

2.2 Confeção dos traços de concreto

Como forma de analisar as propriedades mecânicas proporcionadas pela fibra de aço ao concreto foram aplicados três teores diferentes de fibra de aço no concreto básico, e também, confeccionou-se um concreto de referência, sem a adição de fibra, para que as propriedades mecânicas pudessem ser comparadas e avaliadas.

Foram adicionadas as quantidades de 30, 60, 90 quilogramas de fibra de aço para $1m^3$ de concreto, assim foi adotada as respectivas legendas, de F30, F60 e F90 para diferenciação dos traços de com fibra para o concreto de referencia denominado de REF.

A partir do momento que foi definida a dosagem do traço e os teores de fibra a serem empregados, partiu-se para o processo de execução. Essa mistura foi realizada mecanicamente com o auxílio de uma betoneira de queda livre que produz um movimento onde as pás internas da cuba levam o material até a parte superior e de lá estes caem por gravidade ou queda livre, os materiais são misturados aos poucos, garantindo uma homogeneidade.

A quantificação dos materiais utilizados para confeccionar os traços de concretos encontra-se explicitadas em quilogramas na Tabela 1 que segue.

Tabela 1 - Quantidade de materiais utilizados nas concretagens

Materiais Utilizados (kg)						
Traço	Cimento	Areia	Brita	Água	Aditivo	Fibra
F30	52,00	109,72	149,70	28,08	0,26	12,74
F60	50,00	105,5	144,00	27,00	0,26	8,17
F90	52,00	109,72	149,70	28,08	0,26	12,72
REF	55,00	106,05	158,4	29,00	0,00	0,00

2.3 Moldagem dos Corpos de Prova Cilíndricos e Prismáticos de Concreto [1].

A partir das concretagens foram confeccionados os corpos de prova cilíndricos e prismáticos de cada traço de concreto com seu respectivo teor de fibra e o traço de concreto de referência, para posterior rompimento nos ensaios de resistência. As fôrmas utilizadas para os corpos de prova cilíndricos são constituídas de material metálico nas dimensões de 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura. Na preparação dos moldes prismáticos foram utilizados fôrmas prismáticas de madeira, formando vigotas com seção de 15 x 15 cm e comprimento de 50 cm. A Tabela 2 apresenta o número de corpos de prova confeccionados para cada concreto em estudo.

Tabela 2: Quantidade corpos de prova confeccionados

MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA		
Concreto	Corpos de prova cilíndricos	Corpos de prova Prismáticos
REF	12	4
F30	12	4
F60	12	4
F90	12	4
Total	48	16

Após a desmoldagem dos corpos de prova, pode-se observar que eles apresentavam uma boa aparência, ou seja, sem imperfeições apresentando também um bom cobrimento de concreto escondendo as fibras. A Figura 1 apresenta os corpos de prova após à desmoldagem.



Figura 1 - Aparência dos corpos de prova

2.4 Ensaios de Resistência do Concreto Endurecido

2.4.1 Ensaios de compressão axial [2].

O ensaio de compressão axial é considerado o principal ensaio de caracterização dos concretos, é amplamente difundido no setor da construção civil, pois a partir deste se obtém a resistência característica dos concretos (f_{ck}), sendo esse parâmetro utilizado como referência para os cálculos e dimensionamentos dos elementos construtivos. Desta forma, no total foram utilizados 24 corpos de prova para determinação desse ensaio sendo a idade de cura de 28 e 120 dias. A figura 2 demonstra a execução do ensaio.



Figura 2 - Execução do ensaio de compressão axial

2.4.2 Ensaios de tração por compressão diametral [3].

O ensaio de tração por compressão diametral determina outro importante parâmetro na caracterização dos concretos, tratando em especial do concreto reforçado com fibra. Acredita-se que as fibras podem contribuir significativamente na resistência à tração dos elementos cimentícios. Para avaliação da resistência à tração do concreto reforçado com fibra foram submetidos ao ensaio 24 corpos de prova cilíndricos, confeccionados com os concretos mencionados anteriormente, possuindo diferentes teores de fibra e sendo um de referência. Da mesma forma que ensaio anterior, os corpos de prova foram ensaiados aos 28 e 120 dias. A figura 3 demonstra a execução do ensaio de tração por compressão diametral.



Figura 3 – Execução do ensaio de tração por compressão diametral

2.4.3 Ensaio de resistência à tração na flexão em corpos de provas prismáticos [4].

O ensaio de resistência à tração na flexão é considerado um ensaio mais complexo que os citados anteriormente, devido ao seu processo de execução e pela aparelhagem necessária. No entanto, a partir dos resultados obtidos, além da resistência a tração na flexão, é possível obter parâmetros importantes relacionados com as propriedades do concreto endurecido, como, por exemplo, é possível determinar a curva de tensão aplicada e relacioná-la com a deformação do corpo de prova submetido às tensões em questão. Através desses dados é mensurável o cálculo da elasticidade e principalmente da tenacidade dos concretos, haja vista, que essa propriedade é bastante significativa quando se avalia o desempenho de resistência dos concretos reforçados com fibras de aço.

Para a realização do ensaio é necessário posicionar o corpo de prova de seção prismática com dimensões de 15x15 cm por 50 cm de comprimento sobre um suporte metálico de aço onde o concreto é apoiado na base inferior através de dois cutelos e na parte superior é aplicada a carga na região central do prisma, precisamente em cada terço da sua dimensão. O carregamento é simétrico e aplicado de forma constante até a ruptura do corpo de prova. Esse ensaio é conhecido por “carregamento nos terços”, pelo fato das seções carregadas se encontrarem nos terços do vão. É também conhecido como ensaio dos quatro cutelos. A figura 4 apresenta a execução do ensaio de tração na flexão.



Figura 4: Execução do ensaio de tração na flexão

3 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como forma de analisar o desempenho de resistência do concreto com fibras de aço verificou-se, primeiramente, os acréscimos de resistência proporcionados ao concreto devido à adição das fibras no interior da matriz cimentícia, comparando os diferentes traços de concreto com seus distintos teores de fibras de aço com o concreto de referência, ou seja, sem fibra. Essa análise foi feita para os três ensaios de resistência executados, nas suas respectivas idades.

3.1 Resistência à compressão

3.1.1 Ensaios de compressão axial [2].

A Figura 5 apresenta o gráfico dos resultados médios de resistência à compressão axial aos 28 e 120 dias.

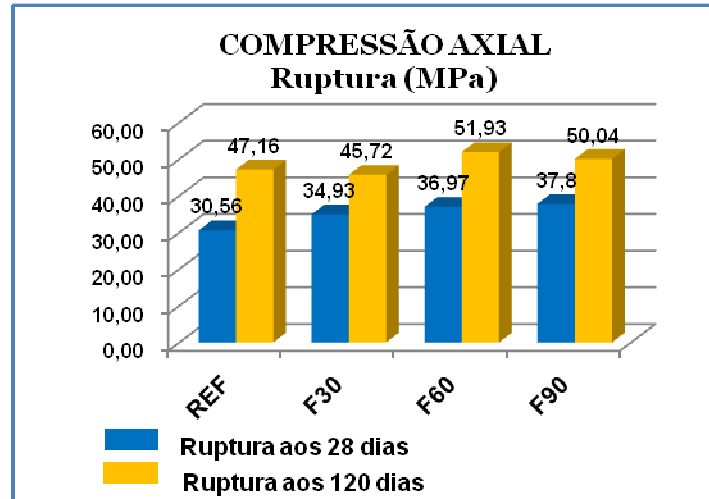


Figura 5: Gráfico dos resultados do ensaio de compressão axial

3.1.2 Acréscimo de resistência na compressão axial.

A partir dos resultados obtidos no ensaio realizado aos 28 dias de idade, pode-se observar que ocorreu um ganho médio de resistência de 19,6% dos concretos com fibra de aço em relação ao concreto de referência, sendo que o menor ganho foi de 14,3% correspondente ao traço F30, traço de menor proporção de fibra de aço por metro cúbico (30Kg/m³). Aos 120 dias o acréscimo médio de resistência à compressão axial dos traços com fibras de aço foi de 8,1% quando comparado com o concreto de referência.

3.2 Resistência à tração por compressão diametral

3.2.1 Ensaios de tração por compressão diametral [3].

A Figura 6 apresenta o gráfico dos resultados médios de resistência à tração por compressão diametral aos 28 e 120 dias.

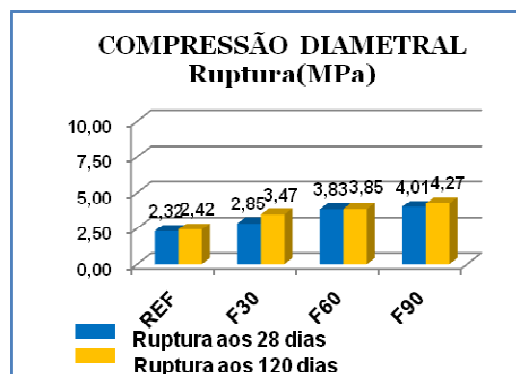


Figura 6: Resultados do ensaio de tração por compressão diametral aos 120 dias

3.2.2 Acréscimo de resistência à tração por compressão diametral.

Na verificação do acréscimo de resistência no ensaio de tração por compressão diametral, pode-se verificar que, aos 28 dias o ganho médio de resistência dos traços com adição de fibra de aço foi de 53,5% em relação ao concreto sem fibra, sendo que, o menor acréscimo foi de 22,8% e correspondeu ao ganho de resistência do traço F30. Entretanto, aos 120 dias o acréscimo médio de resistência dos traços com fibras de aço atingiu 59,6% em relação ao traço de referência, o traço F30 apresentou, novamente, o menor de ganho de resistência, obtendo 43,3% a mais que o traço sem fibra de aço.

3.3 Resistência à Tração na Flexão

3.3.1 Ensaio de resistência à tração na flexão

A Figura 7 apresenta o gráfico dos resultados médios de resistência à tração na flexão, esse ensaio foi realizado somente na idade de 120 dias.

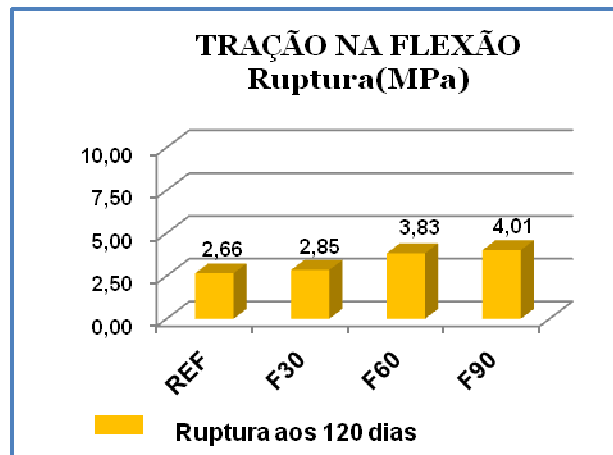


Figura 7: Resultados do ensaio de tração na flexão

3.3.2 Acréscimo de resistência à tração na flexão

A partir dos resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, realizado aos 120 dias de idade, pode-se verificar que, o ganho de resistência médio, dos concretos com fibras de aço, foi 33,95% em relação ao concreto sem fibra de aço. O menor acréscimo de resistência foi obtido pelo traço F30 que atingiu 7,14% em relação ao traço de referência.

3.4 Ganhos percentuais de resistências

A Figura 8 apresenta os gráficos comparativos dos ganhos de resistência dos concretos com fibra em relação ao concreto de referência. Esses ganhos foram levantados nos ensaios de compressão axial, compressão por tração na diametral e tração na flexão, em suas respectivas idades, conforme segue.

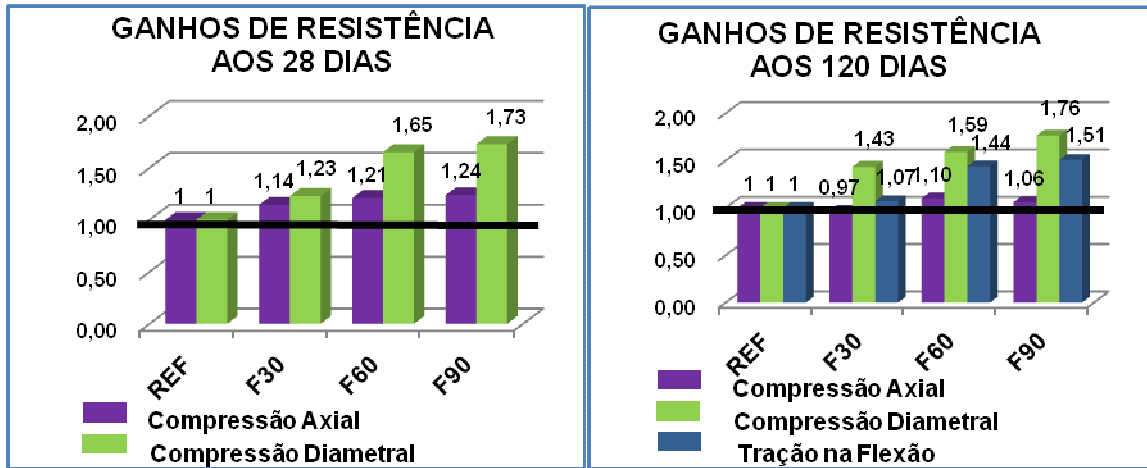


Figura 8: Ganhos de resistência nos ensaios aos 28 e 120 dias

A partir dos gráficos, acima, pode-se analisar que os maiores ganhos de resistência ocorreram no ensaio de tração por compressão diametral, seguidos pelo ensaio de tração na flexão. Esses ganhos ocorreram devido a boa resistência mecânica à tração que a fibra de aço possui, contribuindo, assim, para o aumento da resistência à tração do concreto.

3.5 Análise dos acréscimos de resistência com o teor de fibra de aço

A análise do acréscimo de resistência com o teor de fibra adicionado nos traços de concreto vem a identificar o traço que apresenta o melhor desempenho das propriedades mecânicas, levando em consideração o volume de fibra de adicionado na matriz de concreto.

3.5.1 Análise do acréscimo de resistência com o teor de fibra de aço aos 28 dias.

Nos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral verificou-se que o maior ganho de resistência, em relação ao teor de fibra adicionado, ocorreu no traço F60, ou seja, traço de concreto que possui adição de 60 kg de fibra de aço por metro cúbico de concreto. O ganho atingiu patamares de 46% no ensaio de compressão axial em relação ao traço F30. Entretanto, o desempenho foi melhor no ensaio de tração por compressão diametral atingindo 185% de ganho em relação ao traço F30. Os resultados dessa análise estão explicitados pelas Figuras 9 e 10 e pela Tabela 3.

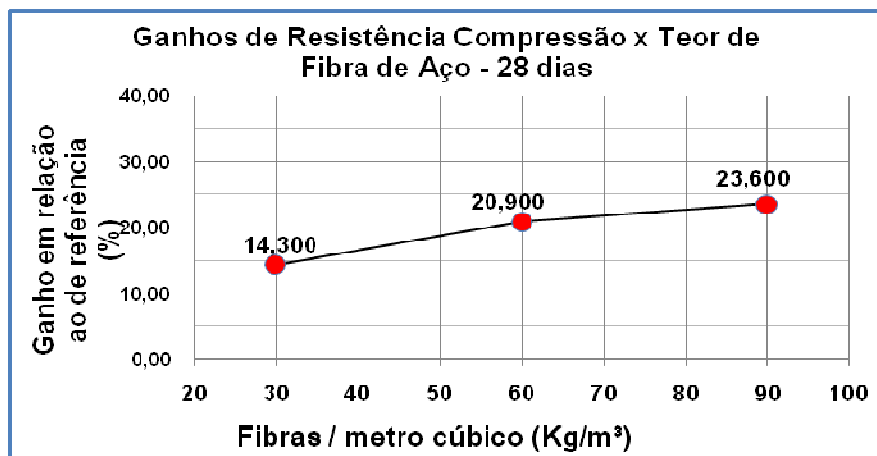


Figura 9: Ganho de resistência na compressão axial com o teor de fibra aos 28 dias

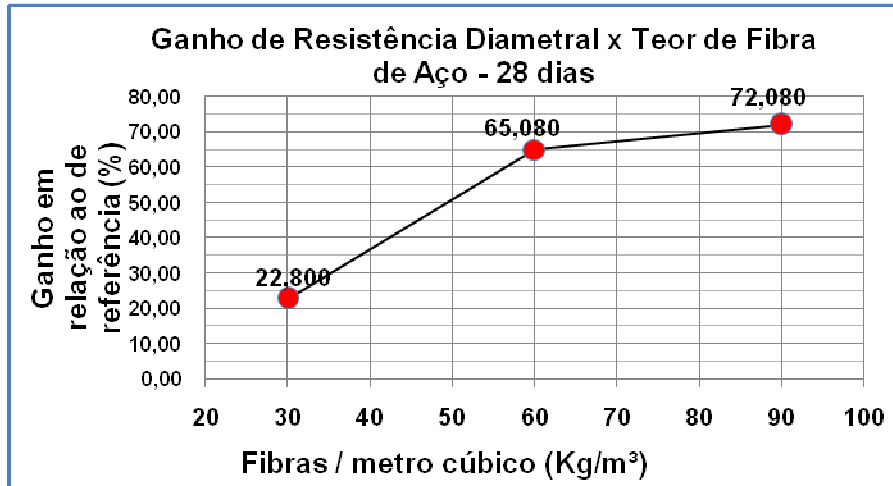


Figura 10: Ganho de resistência na tração por compressão diametral com o teor de fibra aos 28 dias.

Tabela 3: Ganhos de resistência x Teor de fibra de aço aos 28 dias

Ganhos de Resistência x Teor de Fibras aos 28 Dias

Teores de Fibra (Kg/m³)	Compressão	Diametral
60 – 30	46%	185%
90 – 60	13%	10%

3.5.2 Análise do acréscimo de resistência com o teor de fibra de aço aos 120 dias.

Nos ensaios realizados aos 120 dias de idade, pode-se observar que os maiores ganhos de resistência também ocorreram no traço com adição de 60 kg de fibra de aço por metro cúbico de concreto. No ensaio à compressão axial esse ganho foi de 8,0%, no ensaio de tração por compressão diametral o ganho foi de 36%, e no ensaio de tração na flexão esse desempenho atingiu 514%. Os resultados dessa análise estão explicitados pelas Figuras 11, 12, 13 e pela Tabela 4.

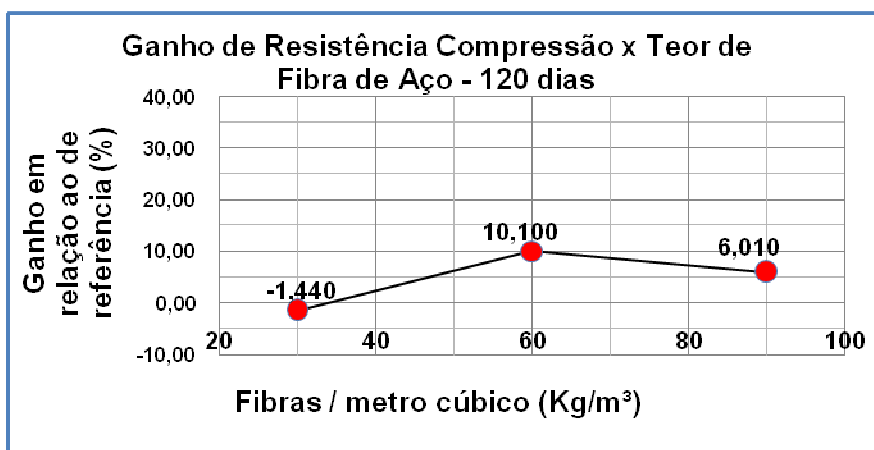


Figura 11: Ganho de resistência na compressão axial com o teor de fibra aos 120 dias.

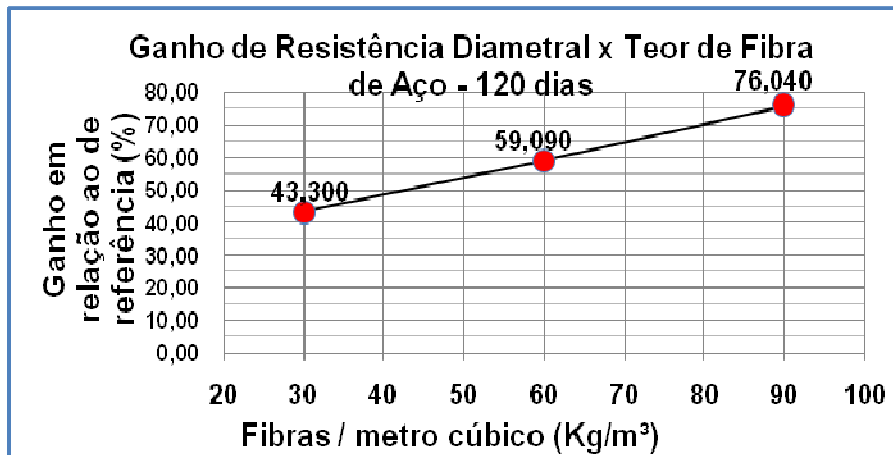


Figura 12: Ganho de resistência na tração por compressão diametral com o teor de fibra aos 120 dias.

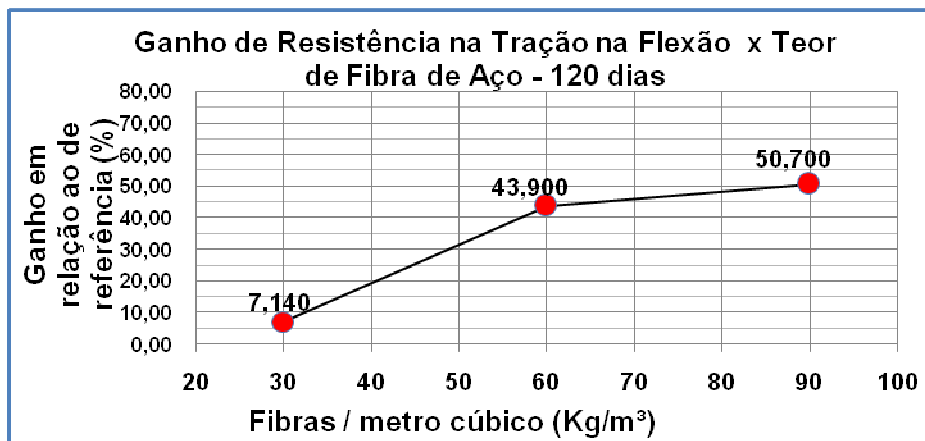


Figura 13: Ganho de resistência na tração na flexão com o teor de fibra aos 120 dias

Tabela 4: Ganhos de resistência X Teor de fibra de aço aos 120 dias

Ganhos de Resistência x Teor de Fibras aos 28 Dias			
Teores de Fibra (Kg/m³)	Compressão	Diametral	Tração na flexão
60 – 30	8,00%	36%	514%
90 -60	-40%	29%	15%

A partir da análise realizada verificou-se que o traço com adição de 60kg de fibras de aço por metro cúbico de concreto apresentou os melhores acréscimos de resistência em todos os ensaios executados, uma vez que, os ganhos de resistência não foram proporcionais ao teor de fibra de aço adicionado no concreto.

4 – CONCLUSÕES

A intensa busca por melhorias e desenvolvimento de novas tecnologias dos materiais de construção civil são necessárias para o crescimento do setor da Engenharia Civil através do aprimoramento de procedimentos e criação de novos métodos com o objetivo de otimizar os processos e diminuir os custos envolvidos, levando em consideração as questões sócio-ambientais, visando uma maior durabilidade das construções.

No desenvolvimento deste estudo pôde-se observar que as fibras de aço, quando adicionadas ao concreto, constituem um novo material, com propriedades distintas dos concretos convencionais. Isso ocorre devido à boa resistência mecânica à tração e ao elevado módulo de elasticidade que a fibra possui. Através dos experimentos executados, pode-se observar que o concreto com fibra de aço apresentou uma melhoria nas propriedades da resistência à compressão axial. No entanto, os benefícios foram superiores quando foram analisadas as propriedades de resistência à tração dos concretos em comparação a um concreto sem fibras. Isso foi comprovado, através dos acréscimos de resistência obtidos pelos traços com fibra de aço e pelos percentuais equivalentes da resistência à tração em relação à resistência à compressão axial.

O traço que apresentou melhor desempenho das propriedades mecânicas foi o traço que possuía 60 kg de fibra de aço por metro cúbico de concreto (F60), pois com esse teor, os ganhos de resistências são significativos quando comparados com traços com teores menores e maiores.

Em suma, a viabilidade da adição de fibras de aço é comprovada, parcialmente, pela melhoria das propriedades de resistência oferecida pelas fibras no interior da matriz de concreto. Entretanto, outras pesquisas relacionadas à durabilidade do material e a resistência ao impacto ainda devem ser desenvolvidas com o intuito de comprovar integralmente esse estudo.

REFERÊNCIAS

1. ABNT – NBR 5738: **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.** (Procedimento). Rio de Janeiro, Abr. 1994/9 pág.
2. ABNT – NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** (Procedimento). Rio de Janeiro, Jul. 1994/4 pág.
3. ABNT – NBR 7222: Argamassa e concreto – **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** (Procedimento). Rio de Janeiro, Janeiro, Mar. 1994/3 pág.
4. ABNT – NBR 12142/MB 3483: **Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos.** (Procedimento). Rio de Janeiro, Dez. 1991/3 pág.
5. ABNT – NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. (Procedimento). Rio de Janeiro, Jul. 2003/6 pág.
6. ABNT – NBR NM 67: Concreto – **Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** (Procedimento). Rio de Janeiro, Fev. 1998/8 pág.
7. ABNT – NBR 15530: **Fibras de aço para Concreto – Especificações.** 2007/7 pág.
8. BASTOS, Paulo S.S . **Concreto com Fibras de Aço**, Tese (doutorado), Capítulo 4, São Paulo, 2000.
9. CALDAS, A.; FIGUEIREDO, A. D.; BITTENCOURT, T. N. **Propriedades de Concreto Reforçado com Fibras de Aço (CRFA): comparação entre métodos de medida**, anais do 5º simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto.
10. FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com Fibras**, CONCRETO, Ensino, Pesquisas e Realizações, Capítulo 39, IBRACON, 2005.
11. METHA, P. K. **Concreto: estrutura, propriedades de materiais** / P. Kumar Metha, Paulo J. M. Monteiro, São Paulo, Pini,1994.
12. MIGLIORINI, A.; **Estudo para Fibras em Blocos de Concreto Utilizados em Carapaça de Molhes da Barra.** Projeto de graduação em Engenharia Civil. Escola de engenharia, Fundação Universidade Federal do Rio grande, FURG 2007.