INFLUÊNCIA DO ALINHAMENTO MAGNÉTICO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO REFORÇADO COM FIBRAS

BRITO, I. S. (1); MARTINI, S. (2); RAMBO, D. A. S. (3), SALVADOR, R. P. (4)

(1) Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, SP, igor.brito.eng@gmail.com;

(2) Universidade São Judas Tadeu; São Paulo, SP, prof.martini@usjt.br;

(3) Universidade São Judas Tadeu; São Paulo, SP, prof.dimasrambo@usjt.br

(4) Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, SP, prof.renansalvador@usjt.br

Resumo: *Atualmente o uso de fibras metálicas em matrizes cimentícias de alto desempenho vem sendo objetivo de diversas pesquisas. A sua utilização em um concreto auto adensável possibilita o alinhamento das fibras por meio de agentes externos quando ainda na fase fluida, o que pode trazer melhorias significativas no comportamento mecânico do compósito endurecido. Este trabalho buscou alinhar fibras curtas de aço por meio de um campo magnético externo e avaliar sua influência sobre as propriedades mecânicas de um compósito cimentício reforçado com fibras. Inicialmente foi desenvolvido um aparato experimental para o alinhamento magnético das fibras, baseado em um circuito magnético. Corpos de prova prismáticos foram utilizados no alinhador e posteriormente submetidos a ensaios mecânicos. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão mostram um aumento* significativo*, quando as fibras são orientadas ao longo do campo magnético externo.*

Palavras-chave: *Orientação magnética de fibras. Compósito de elevado desempenho. Fibras.*

Área do Conhecimento: *Engenharia Civil, Construção Civil, Materiais e Componentes de Construção, Tecnologia de componentes para construção.*

1 INTRODUÇÃO

O concreto de alto desempenho reforçados com fibras é um compósito que pode ser tratado como uma extensão dos concretos convencionais reforçado com fibra e dos concretos de elevado desempenho, podendo também oferecer a vantagem de pertencer à família dos concretos auto adensáveis (AFROUGHSABET; BIOLZI; OZBAKKALOGLU, 2016).

Em razão da sua elevada fluidez, tanto o concreto de alto desempenho reforçado com fibra quanto os concretos auto adensáveis, possibilitam que a orientação das fibras ocorra durante a fase fluida, podendo ser feita no processo de lançamento do material (ABUKHASHABA; MOSTAFA; ADAM, 2014). O controle da reologia assume um papel ainda mais importante, uma vez que a posição do elemento de reforço é definida durante o processo de lançamento, podendo assim afetar o desempenho mecânico do compósito (DI PRISCO; PLIZZARI; VANDERWALLE, 2009).

Porém, é importante destacar que a distribuição e a orientação das fibras podem ser afetadas por sua dosagem e dimensões, bem como pela trabalhabilidade da mistura fresca, e pelo método de lançamento. A orientação das fibras, no concreto de alto desempenho reforçados com fibras, é um fator muito importante no comportamento mecânico. Quando orientadas na direção do esforço principal, podem ser responsáveis pela otimização do desempenho mecânico e da tenacidade (ABRISHAMBAF; PIMENTEL; NUNES, 2017).

O presente trabalho explora a orientação de fibras de aço, em compósitos cimentícios, através da aplicação de um campo magnético externo. O alinhador magnético construído para este trabalho foi baseado no conceito de circuito magnético. O efeito potencial do alinhamento magnético em um concreto de alto desempenho reforçado com fibra foi demonstrado a partir dos resultados dos ensaios mecânicos, com destaque ao ganho de tenacidade devido ao alinhamento das fibras.

2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais: cimento CPV-ARI, com massa especifica 3,10 g/cm^3, microsílica, metacaulim e quartzos de 4 granulometrias diferentes (1,2 mm; 0,6 mm; 0,3 mm; 0,15 mm), aditivo superplastificante (policarboxilato), água e fibras de aço com comprimento de 12,5 mm e diâmetro de 0,05 mm. Os traços desenvolvidos estão apresentados no Quadro 1. A relação água/cimento foi de 0,3.

Quadro 1 – Traços desenvolvidos.

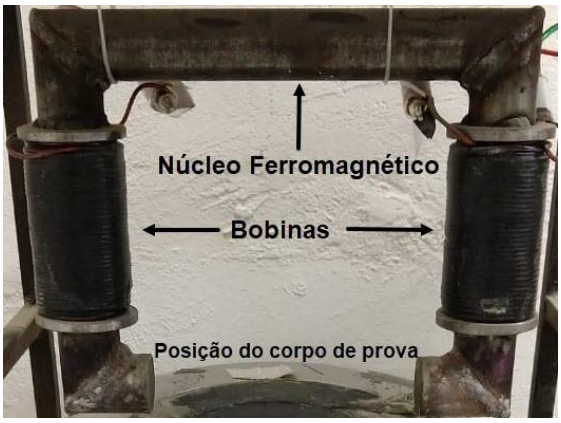
Traços								
Materiais	**Massa especifica (kg/m³)**	**Traço**	**Padrão**	**Aço 1.0%**	**Aço 1.5%**	**Aço 2.0%**	**Aço 3.0%**	**Aço 5.0%**
Cimento	3100	1	599,25	593,25	590,26	587,26	581,27	569,28
Metacaulim	2560	0,43	257,68	255,1	253,81	252,52	249,95	244,79
Sílica Ativa	2200	0,11	65,92	65,26	64,93	64,6	63,94	62,62
Areia #100	2640	0,73	437,45	433,07	430,89	428,7	424,32	415,57
Areia #50	2640	0,69	413,48	409,34	407,28	405,21	401,07	392,8
Areia #30	2640	0,45	269,65	266,95	265,61	264,26	261,56	256,17
Areia #16	2640	0,33	194,76	192,81	191,84	190,86	188,92	185,02
Água	1000	0,3	179,77	177,97	177,07	176,18	174,38	170,78
Fibra de aço	7850	0,15	0	78,5	117,75	157	235,5	392,5
Aditivo	1205	0,043	25,77	25,51	25,38	25,25	24,99	24,48
Espalhamento (mm)	___	___	390	340	352	321	365	385

Fonte: Autores.

A mistura dos constituintes do compósito obedeceu a seguinte ordem: (1) mistura de todos os ligantes anidros por 1 minuto em velocidade lenta; (2) adição de 2/3 da água e 2/3 do aditivo superplastificante, e mistura em velocidade rápida por 2 minutos e 30 segundos; (3) adição dos agregados (areias) durante 1 minuto em velocidade lenta e após mistura por 30 segundos em velocidade rápida; (4) as fibras metálicas, quando utilizadas, foram adicionadas durante 1 minuto com o equipamento em velocidade lenta, e adicionados o restante da água e aditivo superplastificante e (5) mistura final por 1 minuto em velocidade lenta e descanso por 1 minuto dentro da cuba.

Para o alinhamento magnético das fibras, foi construído o aparato experimental apresentado na Figura 1. O alinhador magnético é constituído de um núcleo ferromagnético e duas bobinas condutoras. O campo magnético é produzido pela corrente elétrica que circula pelas bobinas. Após a construção do alinhador foi realizada uma mistura de silicone com fibras, com o objetivo de observar a orientação pretendida das fibras no interior da matriz. Para isso utilizou-se um molde de acrílico transparente para que seja possível observar o efeito do campo magnético nas fibras. A Figura 2 mostra a condição de não alinhamento (0 A) e alinhamento (12 A).

Figura 1 – Alinhador magnético.



Fonte: Autores.

Figura 2 – Fibras (a) desalinhadas (0 A) e (b) alinhadas (12 A) devido ao campo magnético.



(a)



(b)

Fonte: Autores.

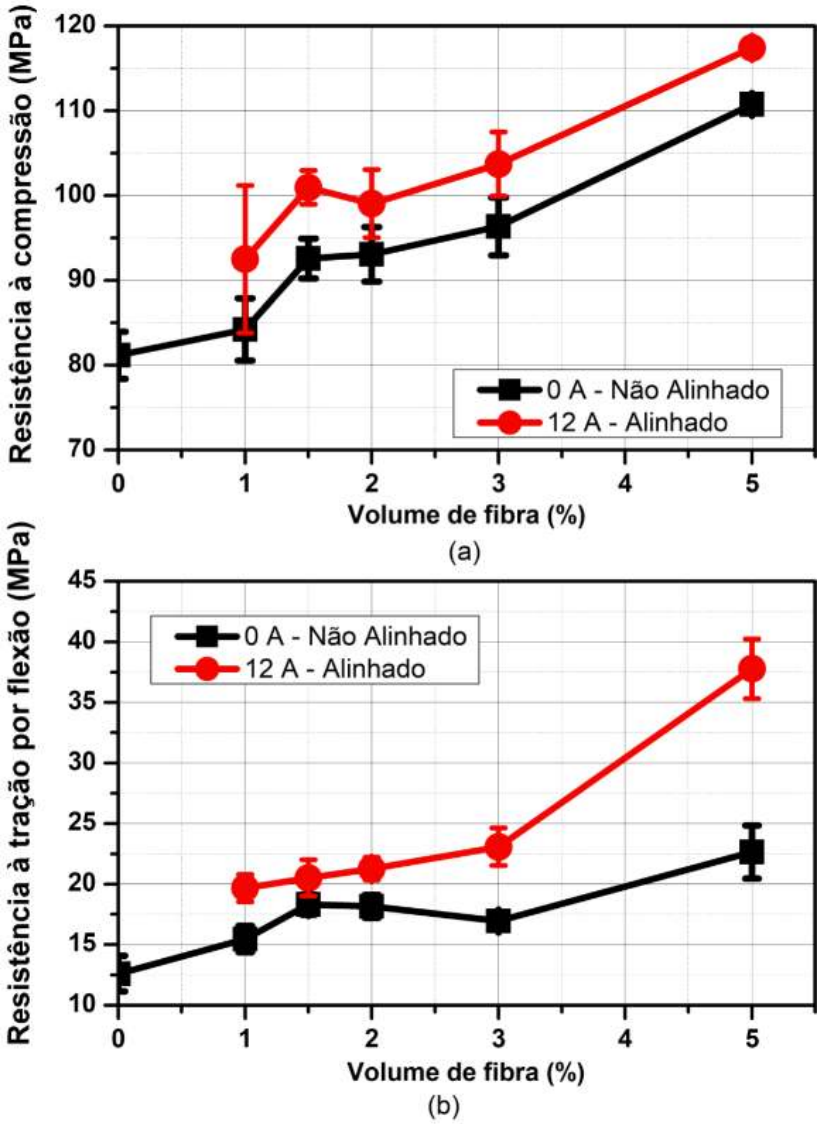
Uma vez executada a fase de mistura e teste no alinhador magnético, foram moldados 3 corpos de prova prismáticos, com dimensões de 160 x 40 x 40 mm, para cada um dos traços no Quadro 1. Em seguida, cada corpo de prova foi levado ao alinhador magnético. Os corpos de prova foram colocados sobre uma mesa vibratória e posicionados entre o entreferro da bobina. Seguiu-se a aplicação do campo magnético, simultaneamente com uma vibração por 40 segundos. Após esse período, interrompeu-se a vibração e a corrente elétrica. Em seguida as amostras foram colocadas em cura térmica durante sete dias, submersa com água saturada de cal, a temperatura de (53.0 ± 0.5°) °C. Após esse período foram realizados ensaios de resistências à compressão e à tração na flexão, segundo a norma NBR 13279 (2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, para diferentes volumes de fibras utilizados e diferentes condições de alinhamento. Em ambos os ensaios se

observa um aumento das resistências para as amostras que foram alinhadas magneticamente. Para o ensaio de compressão, com exceção da amostra contendo 1,5 % de fibras, os valores das resistências crescem de forma linear à medida que a quantidade de fibras aumenta na matriz. Essa relação de linearidade é mantida para a amostra sujeita ao alinhamento magnético.

Figura 3 – Resistências à (a) compressão e (b) à tração por flexão.

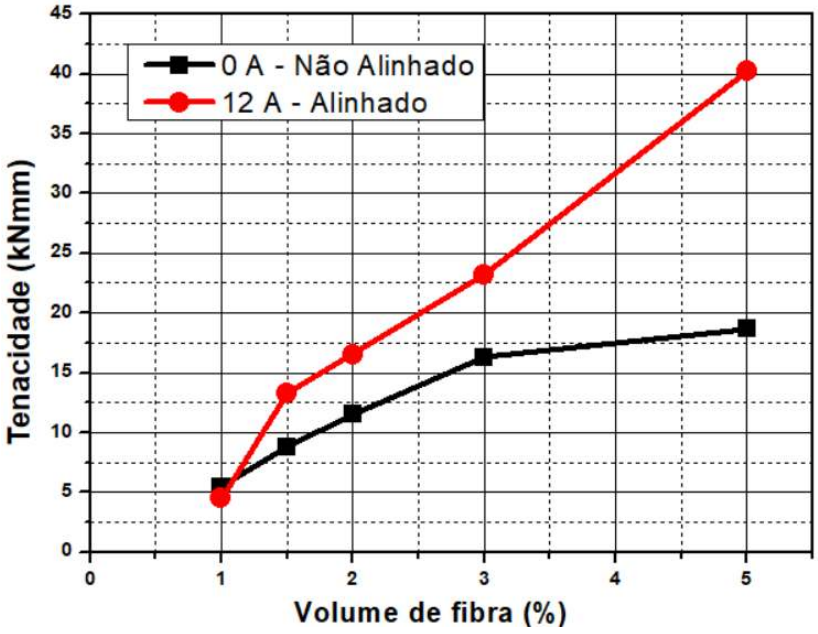


Fonte: Autores.

Para o ensaio de resistência à tração na flexão, observa-se que para as amostras sem alinhamento magnético, os valores de resistência (MOR) apresentam pouca variação no intervalo entre 1% e 3% de volumes de fibras, sendo o ganho maior para o volume com 5%. As amostras submetidas ao alinhamento magnético apresentam uma taxa de variação de 1,25 MPa por volume de fibra, entre o intervalo de 1% e 3%. Contudo, essa taxa tem um aumento acentuado de 7,5 MPa por volume de fibra no intervalo de 3% e 5%.

Entretanto, o desempenho das fibras em um compósito pode ser avaliado por meio de sua tenacidade, pois a maior parte da energia até a ruptura provem da aderência entre a fibra e a matriz. Um dos principais motivos para incorporação das fibras no concreto é o acréscimo, na capacidade de absorção, de energia da matriz. A tenacidade é a capacidade de um material absorver energia e plasticamente deformar antes de fraturar. A Figura 4 mostra a tenacidade à flexão, determinada até 4 mm de deflexão, para as amostras não alinhadas e alinhadas. Nota-se, claramente, um ganho de tenaciade para as amostras, cujas as fibras foram alinhadas magenticamente.

Figura 4 – Tenacidade obtida paras amostras.



Fonte: Autores.

4 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram investigados a influência do alinhamento magnético sobre as propriedades mecânicas de um concreto de alto desempenho reforçado com fibras. Foi construído um aparato experimental para a geração de um campo magnético, capaz de orientar as fibras em um compósito cimentício. Os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão mostraram um ganho significativo nos valores das resistências devido ao alinhamento magnético. Além destes resultados, o concreto produzido com fibras alinhadas apresentou um ganho de tenacidade mais elevado em comparação ao concreto com fibras não alinhadas.

5 REFERÊNCIAS

ABRISHAMBAF, A.; PIMENTEL, M.; NUNES, S. Influence of fibre orientation on the tensile behaviour of ultra-high performance fibre reinforced cementitious composites. **Cement and Concrete Research**, v. 97, p. 28-40, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.03.007.

ABUKHASHABA, M.; MOSTAFA, A. M.; ADAM, I. A. Behavior of self-compacting fiber reinforced concrete containing cement kiln dust**. Alexandria Engineering Journal**, v.53, n2, p. 341-354, 2014.

AFROUGHSABET, V.; BIOLZI, L; OZBAKKALOGLU, T. **Journal of Materials Science**, v. 51, p. 6517-6651, 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/s10853-016-9917-4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR** 13279:2005: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

DI PRISCO, M., PLIZZARI, G.; VANDERWALLE, L. Fibre reinforced concrete: new desing persperctives. **Material and Structures**, v. 42, p. 1261-1300, 2009.