

INFLUÊNCIA DO REFORÇO DE FIBRAS DE AÇO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE MATRIZ CIMENTÍCIA DE ULTRA-ALTO DESEMPENHO

ALEXANDRE ANASTACIO KOUMOULENTZOS¹; JOSÉ AMÉRICO ALVES SALVADOR FILHO²

¹ Graduando em Engenharia Civil, Bolsista PIBITI/CNPq, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, alexandre.koumoulentzos@hotmail.com.

² Professor Dr., Engenharia Civil, IFSP, Câmpus Caraguatatuba, jasalvador@ifsp.edu.br.
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.01.01.01-8 Materiais e Componentes de Construção

RESUMO: O atual desenvolvimento de aditivos e adições para a produção de compósitos cimentícios permite a obtenção de resistências mecânicas cada vez mais elevadas. Matrizes cimentícias de alta resistência podem ter suas propriedades mecânicas melhoradas a partir da incorporação de fibras. Desta forma, obtêm-se compósitos cimentícios de ultra-alto desempenho (do inglês ultra high performance concrete – UHPC) reforçados com fibras, que permitem a produção de elementos pré-moldados especiais seja para uso estrutural e/ou arquitetônico, bem como materiais para recuperação e/ou reforço de estruturas de concreto armado. Este trabalho visa avaliar o efeito da incorporação de fibras de aço em matrizes cimentícias de ultra alto desempenho nas propriedades mecânicas do compósito. Inicialmente foi planejada uma etapa experimental, mas em decorrência do período de afastamento social devido à pandemia Covid-19, foi adotada a metodologia de revisão bibliográfica e análises de resultados de outros autores com os estudos preliminares realizados em laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: concreto ultra-alto desempenho (CUAD), fibra de aço, propriedades mecânicas.

INFLUENCE OF STEEL FIBERS REINFORCEMENT ON PHYSICAL PROPERTIES OF ULTRA-HIGH PERFORMANCE CEMENTICIOUS MATRIX

ABSTRACT: The current development of admixtures and supplementary cementitious materials to produce cementitious composites allows to obtain increasingly high mechanical strengths. High strength cementitious matrices can have their mechanical properties improved by fibers incorporation. In this way, fiber reinforced ultra-high performance cementitious composites (UHPC) are obtained, which allow production of special precast elements for structural and / or architectural use as well as materials for the recuperation and/or reinforcement of reinforced concrete structures. This work aims to evaluate the effect of the incorporation of steel fibers in ultra-high performance cementitious matrices on the mechanical properties of the composite. Initially, an experimental asses was planned, but due to the period of social withdrawal due to the Covid-19 pandemic, it was adopted the methodology of bibliographic review and analysis of results of different authors with the preliminary studies carried out in the laboratory.

KEYWORDS: ultra high performance concrete (uhpc), steel fiber, mechanical properties.

INTRODUÇÃO

O Concreto de Ultra-Alto Desempenho (CUAD) é uma classe de concreto relativamente nova que vem sendo estudada com vigor nos últimos anos. Com um alto desempenho de resistências a compressão, tração e flexão, além de alta durabilidade, possui em sua composição o uso apenas de materiais finos, eliminando o uso de agregados graúdos, para conferir-lhe uma matriz cimentícia com alta compactação e homogeneidade e baixa relação água/cimento (a/c), utilizando-se de

superplastificantes para melhorar trabalhabilidade e fluidez. A adição de fibras à sua composição pode desempenhar uma grande melhora nessas propriedades mecânicas.

As fibras no CUAD, além de aumentarem sua resistência à compressão, também auxiliam na resistência à flexão e tração, tornando a matriz cimentícia dúctil, pois são capazes de suportar as cargas e refrear a fissuração, conferindo uma resistência pós-fissuração, funcionando como pontes entre as rachaduras internas do concreto e eliminando a necessidade do uso de armaduras na estrutura. Entre as diversas naturezas de fibras, a fibra de aço é a que melhor apresenta resultados em melhorar tais propriedades mecânicas do concreto, quando adicionado um teor de fibra de até 5% em relação ao volume total de material, devido a sua alto módulo de elasticidade e melhor interação com a matriz cimentícia.

Desta forma, o escopo deste estudo é analisar os resultados de resistência mecânica do CUAD com incorporação de fibras de aço por meio de uma revisão bibliográfica, comparando os resultados de diversos autores entre si e com estudos preliminares feitos em laboratório.

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi elaborada inicialmente com a previsão de uma avaliação experimental de materiais disponíveis localmente para a produção de matrizes cimentícias de ultra-alto desempenho reforçadas com fibra de aço. Foram realizados testes preliminares em laboratórios a partir de estudos de dosagens de matrizes de ultra-alto desempenho realizadas em pesquisas anteriores para posterior melhora dos traços obtidos em busca de melhores resultados. Devido à suspensão das atividades presenciais no Câmpus, o restante da etapa experimental foi substituída por uma revisão dos métodos de dosagem utilizados em pesquisas recentes acerca do assunto. Nesta revisão de bibliografia, foram pesquisadas as palavras-chaves no mecanismo de busca Google Acadêmico, as quais foram: “*uhpc*”; “*uhpc steel fiber*”; “*uhpc hooked steel fiber*”; “*uhpc steel fiber static compressive properties*”. A seleção dos artigos foi realizada com base no critério de ano de publicação, nos períodos de 2015 a 2020, e apresentados de forma cronológica, sendo que destes foram selecionados os mais pertinentes através da análise do resumo, e a partir dos escolhidos analisaram-se, comparou-se e discutiu-se as conclusões alcançadas pelos pesquisadores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estes testes possibilitaram observar o comportamento, influência e interação das fibras de aço com a matriz cimentícia através da avaliação do estado fresco do concreto e da resistência à compressão e flexão na tração de corpos de prova prismáticos aos 7 e 28 dias de cura úmida.

No começo da pesquisa foram focados artigos que possuíam títulos voltados ao intuito da pesquisa, que é observar as propriedades mecânicas do CUAD com adição de fibras de aço, utilizando palavras-chaves como “*uhpc concrete steel fiber*” e “*mechanical properties uhpc concrete*”, priorizando artigos produzidos no período específico de 2017 a 2020.

Com os artigos pesquisados, foi feita uma primeira leitura com foco no resumo e conclusão para compreender melhor os objetivos e métodos dos autores. Selecionados alguns artigos, foi feita uma leitura no tópico “materiais” para averiguar o tipo de fibra utilizada pelos autores e foram focados os artigos que utilizaram fibra de aço com extremidades em gancho para avaliar o desempenho nas propriedades mecânicas do CUAD. Também foi verificado se os artigos tratavam de concretos reforçados com taxa de fibras de 2% em relação ao volume de concreto. Após estas etapas, os artigos selecionados foram utilizados para o embasamento da revisão bibliográfica deste trabalho.

A primeira influência que a adição de fibras no CUAD está na relação de quantidade de fibra no concreto. Em um estudo utilizando diferentes teores (0-5%) de fibra de aço reta é possível observar um aumento da resistência à compressão em relação ao CUAD de referência, com 0% de fibra, até o teor de 3% de fibra, onde alcança os valores de 140 e 158 MPa de resistência aos 7 e 28 dias. Para valores de 4% e 5% de teor, houve a diminuição da resistência, alcançando 146 MPa aos 28 dias com 5% de fibra. No teste de flexão, houve o aumento da resistência até o teor 4% de fibra, onde alcançou seu valor máximo de 23,0 MPa, e decresceu com 5%. A diminuição das resistências pode estar associada ao fato da utilização de maiores quantidades de superplastificante no concreto a cada teor, o que causou o surgimento de poros no interior do concreto, e aglomeração de fibra devido a sua grande quantidade, exigindo uma maior energia no momento de mistura o concreto fresco (MENG, W., KHAYAT, K. H.; 2018).

Em outro trabalho, utilizando teores de 1, 2 e 3% de fibras de aço retas e com extremidade em gancho de mesmo comprimento e diâmetro, os valores de resistência à compressão e flexão também aumentaram com o aumento dos teores de fibra. Amostras com fibra atingiram 150 MPa e 40 MPa de compressão e flexão, respectivamente, aos 90 dias de cura, enquanto a amostra de referência atingiu 105 e 19 MPa com mesma idade. Em relação as fibras, temos que, aos 28 dias, a resistência à compressão da amostra de referência alcançou 106,8 MPa, enquanto para 3% de fibra obtivesse um valor 48% maior, e para em gancho 59% maior, aumentando com o acréscimo de fibra para cada fibra. Isto ocorre devido ao espaço entre as fibras no concreto, que diminui com aumento do teor, auxiliando no suporte de cargas e propagação de fissuras (Wu, Z. et al; 2016).

Além desses desempenhos, em um CUAD com adição de fibras de aço retas e lisas com dois diferentes comprimentos (6mm e 13mm) é possível observar a influência do tamanho na resistência à flexão e compressão. Em amostras utilizadas para teste de compressão, houve um aumento de 35% e 28%, aos 7 e 28 dias, respectivamente, em relação aos valores de referência (81,1 e 98,3 MPa), utilizando teor de 2% de fibra longa, enquanto que o mesmo teor de fibras curtas obteve valores 18% maiores aos 28 dias. Em testes de flexão é possível obter a mesmas leituras, onde as fibras longas possuem melhores desempenhos do que as curtas. Porém, é possível obter maiores valores quando essas fibras são misturadas. Amostras com teor de 1,5% de fibra longa e 0,5% de fibra curta possuem os melhores resultados na pesquisa feita, alcançando valores de resistência à compressão 40% e 31% maiores aos 7 e 28 dias, respectivamente, e flexão de 32 MPa, 108% maior aos 28 dias. Concluiu-se que, com o aumento das fibras curtas no concreto, as resistências diminuem devido à dificuldade de tais fibras em refrear rachaduras maiores, evidenciando a influência do tamanho das fibras no CUAD. (WU, Z. et al; 2017).

Também é possível observar a influência da forma das fibras no concreto. Estudos utilizando mesmo tamanho de fibras de aço (13mm de comprimento e 0,2mm de diâmetro) mas diferentes formas (reta e lisa, ondulada e com extremidade me gancho) com testes aos 28 dias evidenciam esta influência. Com teores de 2% de fibra, as onduladas e em gancho possuem valores de 151,6 e 153,6 MPa na resistência a compressão, 7% e 8%, respectivamente, maiores do que os valores obtidos com fibras retas. Na flexão, o desempenho é mesmo, onde amostras com 3% de fibras retas possuem aumento de 72% em relação à 24,8 MPa da amostra de referência, enquanto amostras com mesmo teor de fibras onduladas e em gancho possuem valores 10% e 27%, respectivamente, maiores em relação aos da fibra reta. Desta forma, tem-se que os corpos deformados das fibras podem restringir melhor o aumento e propagação de rachaduras iniciais por possuírem melhor e maior entre ligação com a mistura (WU, Z., SHI, C., KHAYAT, K. H.; 2019).

Em outra pesquisa, utilizando fibras de aço retas (6mm de comprimento e 0,16mm de diâmetro) e com extremidade me gancho (30mm de comprimento e 0,55mm de diâmetro), é possível observar que o valor de resistência à compressão, com teor de 2% de fibra aos 180 dias, é de 182 MPa e 177 MPa, para fibras retas e em gancho, respectivamente, sendo esses valores influenciados pela melhor e mais regular distribuição das fibras retas. Entretanto, na flexão as fibras e gancho possuem melhor desempenho que as retas, que obteve valores 42% maiores que 8,2 MPa das retas. Esse comportamento é justificado pela influência que a fibra em gancho exerce em restringir o aumento e propagação de rachaduras, concedendo ao concreto um caráter mais “plástico” (GESOGLU, M. et al; 2016).

Em estudos utilizando fibras retas (13mm de comprimento e 0,2mm de diâmetro) e em gancho (25mm de comprimento e 0,5mm de diâmetro) obteve-se resultados de resistência à compressão de 143,9 MPa para teores de 2% de fibra reta, um aumento de 29,8% e 5,1% comparado ao resultado para fibra em gancho e concreto de referência, respectivamente. Este melhor desempenho da fibra reta deve-se ao fato de existir uma maior quantidade fibra no concreto, em relação á fibra em gancho (REN, G. et al; 2018).

A partir das informações obtidas dos artigos científicos estudados, a Tabela 1 foi montada com o intuito de se basear nela para melhor comparar os traços de concreto utilizados pelos pesquisadores e a Tabela 2 com o resultados dos testes de compressão e flexão a serem feitos nesta pesquisa e, logo após, construir uma nova tabela incorporando os resultados adquiridos.

TABELA 1. Traços de CUAD pesquisados

Fonte	Cimento	Sílica	Adição supl.	Agregados	Superplast.	Relação
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	%	água/agl.
MENG, KHAYAT (2018)	663,0 (CP III)	42,0	367,0 (Cinza Volante)	955,0	2,2	0,20
WU, SHI, KHAYAT (2019)	863,0	216,0	–	923,0	8,6	0,18
WU et al (2016)	792,0 (CP I 42,5)	264,0	–	1056,0	2,0	0,18
GESOGLU et al (2016)	960,0 (CP II 52,5)	240,0	–	706,2	2,0	0,195
REN et al (2018)	700,0 (CP II 52,5)	140,0	110,0 (Cinza Volante e Escória)	1200,0	2,4	0,16
Próprio Autor/Estudos Preliminares	1000 (CP II Z 40)	75,475	–	998,472	1,5	0,22

TABELA 2. Médias das resistências à compressão e flexão, para 2% de fibras com extremidade em gancho aos 28 dias, de cada autor

Fonte	Resistência à Compressão fc (MPa)	Resistência à Flexão ft (MPa)
MENG, KHAYAT (2018)	145,0	20,4
WU, SHI, KHAYAT (2019)	153,6	44,1
WU et al (2016)	158,8	35,0
GESOGLU et al (2016)	160,0	43,5
REN et al (2018)	138,3	24,3
Próprio Autor/Estudos Preliminares	95,2	26,4

É possível observar na Tabela 1 o uso de diferentes tipos de Cimento Portland, com diferentes classes de resistências que não são usualmente utilizados no Brasil, além da substituição de da sílica ativa por adições de caráter cimentício. Dentre os traços pesquisados, todos possuem uma baixa relação água/aglomerante, uma constância no uso de superplastificante, de cerca de 2%, além do uso de cura úmida convencional em todos os trabalhos, com poucas diferenças no índice de úmida e temperatura.

A partir dos dados observados na Tabela 2, é temos que os traço pesquisados com fibras com extremidades em gancho possuem uma resistência à compressão média de 151,2 MPa e uma resistência à flexão média de 33,5 MPa. Pode-se inferir que o concreto produzido nos estudos preliminares está com resistência abaixo do esperado, sendo necessário realizar novos testes para melhora de seu desempenho.

CONCLUSÕES

De a cordo com a pesquisa feita temos que a adição de fibras na matriz cimentícia do CUAD possui grande relevância em aumentar o desempenho em suas propriedades mecânicas. A fibra de aço é a que melhor eleva tais propriedades de resistência mecânica, pois possui melhor interação com a matriz cimentícia e maior módulo de elasticidade.

Como esse desempenho da fibra é influenciado por sua forma e tamanho, temos que fibras deformadas possuem resultados melhores na resistência à compressão em relação a fibras retas e lisas.

Já na resistência à flexão na tração, temos que o tamanho tem influência mais direta, sendo que fibras de maior comprimento apresentam maiores valores do que matrizes cimentícias com fibras curtas.

Esta pesquisa será continuada para cumprir o planejamento previamente estabelecido assim que as atividades presenciais no Câmpus forem permitidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio dado em relação a iniciação científica, ao meu orientador e aos meus pais que me ajudaram e foram de extrema importância para o andamento e conclusão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

GESOGLU, M., GÜNEVISI, E., MUHYADDIN, G. F., ASSAD, D. S. Strain hardening ultra-high performance fiber reinforced cementitious composites: Effect of fiber type and concentration. *Composites Part B: Engineering*, v.103, p.74-83, 2016.

MENG, W., & KHAYAT, K. H. Effect of hybrid fibers on fresh properties, mechanical properties, and autogenous shrinkage of cost-effective UHPC. *Journal of Materials in Civil Engineering*, v.30, n.4, p.04018030, 2018.

REN, G. M., WU, H., FANG, Q., & LIU, J. Z. Effects of steel fiber content and type on static mechanical properties of UHPCC. *Construction and Building Materials*, v.163, p.826-839, 2018.

WU, Z., SHI, C., & KHAYAT, K. H. Investigation of mechanical properties and shrinkage of ultra-high performance concrete Influence of steel fiber content and shape. *Composites Part B Engineering*, v.174, p.107021, 2019.

WU, Z., SHI, C., HE, W., & WANG, D. Static and dynamic compressive properties of ultra-high performance concrete (UHPC) with hybrid steel fiber reinforcements. *Cement and concrete composites*, v.79, p.148-157, 2017.

WU, Z., SHI, C., HE, W., WU, L. Effects of steel fiber content and shape on mechanical properties of ultra high performance concrete. *Construction and Building Materials*, v.103, p.8-14, 2016.