

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS HÍBRIDAS: UMA REVISÃO SOBRE RECENTES DESENVOLVIMENTOS

Diego Andrey Suk (PIBIC/CNPq/FA/Uem), Vladimir José Ferrari (Orientador),
e-mail: diego.a.suk@gmail.com

Universidade Estadual de Maringá / Centro de Tecnologia / Maringá, PR.

ENGENHARIAS — ENGENHARIA CIVIL

Palavras-chave: compósitos cimentícios, fibras, hibridização.

Resumo:

Materiais de base cimentícia apresentam comportamento quase-frágil, baixa resistência à tração e reduzida capacidade de deformação. A incorporação de fibras curtas distribuídas aleatoriamente na matriz cimentícia é o recurso usado para melhorar o comportamento de tais materiais. Pesquisas têm demonstrado que a hibridização de dois ou mais diferentes tipos de fibras podem resultar em compósitos cimentícios com melhor comportamento em termos de encruamento, resistência e capacidade de deformação. Assim, torna-se oportuno a realização de uma revisão sobre os recentes desenvolvimentos na área de compósitos cimentícios reforçados com fibras por meio do processo de hibridização tendo como foco o desempenho dos compósitos em termos de propriedades físicas e mecânicas. Para tanto, um processo de seleção de artigos científicos será desenvolvido para identificar os resultados da utilização híbrida de fibras, de variadas formas e taxas de combinações, de maneira que possa servir de referência para novas investigações.

Introdução

Compósitos cimentícios de alto desempenho (CCAD) são materiais conhecidos por terem propriedades mecânicas superiores ao concreto convencional e ao concreto contendo fibras. A adição de fibras no concreto, de forma híbrida, melhora as propriedades do material em termos de tenacidade, ductilidade, capacidade de absorção de energia e durabilidade tornando-o assim um material de alto desempenho. Ocorre que, nos últimos anos, diversos tipos de fibras, contendo variadas formas, têm sido utilizados em diferentes taxas de combinações, obtendo assim um material com melhores propriedades em relação ao concreto comum e também ao concreto contendo um único tipo de fibra. Desta maneira, torna-se oportuno, a realização de uma revisão bibliográfica para agrupar parte das pesquisas já realizadas (a partir do ano 2000), tendo como foco a identificação do efeito da hibridização sobre o comportamento das propriedades mecânicas dos compósitos e o direcionamento para novas estratégias de pesquisas.

Materiais e métodos

Para auxiliar no desenvolvimento de uma revisão bibliográfica para identificar artigos de pesquisa relacionadas ao tema “Compósitos cimentícios reforçados com fibras híbridas”, foram utilizados alguns conceitos da metodologia ProKnow-C (*Knowledge Development Process - Constructivist*). Os conceitos aplicados foram: Seleção do portfólio bibliográfico; Análise bibliométrica do portfólio.

Para a busca e seleção de artigos publicados a partir do ano 2000, utilizou-se o Portal de Periódico CAPES/MEC para a definição das bases de dados. Procedeu-se então com uma busca inicial de artigos em cada uma das bases definidas, com o auxílio da combinação de três palavras-chave: Compósitos cimentícios; fibra(s); híbrido. Seguindo as etapas da referida metodologia, obteve-se um portfólio bibliográfico composto por 47 artigos.

Neste trabalho, a análise Bibliométrica do Portfólio conduziu-se através de duas etapas: Identificação do nível de relevância dos Periódicos e reconhecimento científico dos artigos. A primeira foi realizada com base na classificação Qualis Periódicos da CAPES. Os 47 artigos foram publicados em 19 distintos Periódicos, sendo que 32 constam em periódicos com nota máxima (A1) no Qualis Periódicos da CAPES. A determinação do reconhecimento científico dos artigos, procedeu-se através de um levantamento do número de citações dos mesmos pelo Portal do Google Acadêmico.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentadas algumas propriedades físicas e mecânicas dos diversos tipos de fibras aplicadas nas pesquisas do portfólio.

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas das fibras das pesquisas do portfólio

Tipo de Fibra	Comprimento (mm)	Densidade (g/cm ³)	Resistencia (MPa)	Módulo (GPa)
Álcool polivinílico (PVA) [7;44]	6 — 24	1,3	1060 — 1600	20 — 66
Aço [13;23]	12 — 200	7,8	500 — 3000	200 — 210
Bagaço [42;46]	16 — 44	1,26 — 1,44	197,8 — 600	81
Barship (sintética) [46]	30	0,92	550	8,2
Basalto [28]	12	2,65	2100	100
Carbono [1;35]	0,02 — 12,5	1,9 — 1,95	2500 — 12000	200 — 600
Kevlar (sintética) [26]	45	1,45	3220	131
PET [47]	10	1	950 — 1160	11
Poliacrilonitrilo (PAN) [10]	6 — 24	1,17	685 — 826	2 — 3
Polietileno (PE) [27;37]	12 — 18	0,91 — 0,97	2500 — 2700	75 — 88
Polipropileno (PP) [1;32]	6 — 50	0,9	300 — 900	0,13 — 5
SMA (Liga de metais) [33]	16	6,45	869	41

As fibras indicadas foram utilizadas de forma híbrida resultando nas seguintes combinações: aço-aço; aço-polímero; polímero-polímero; aço/polímero-natural.

Os artigos que utilizaram em suas pesquisas a combinação híbrida de fibras aço-aço obtiveram ganhos consideráveis. Fibras de diferentes tamanhos geraram aumento na resistência a compressão e módulo de elasticidade, agiram também como bloqueio na propagação de fissuras, elevando o número de microfissuras dando mais ductilidade aos compósitos. A trabalhabilidade da matriz de concreto foi melhorada com o aumento percentual de fibras curtas na matriz híbrida. Outra forma de hibridização se deu com fibras de diferentes diâmetros, o que levou à um incremento na tenacidade à flexão dos compósitos. Foi possível observar também, que há um volume máximo de incorporação de microfibras de aço (2,5%), o qual se ultrapassado gera efeitos negativos nos compósitos.

A hibridização aço-polímero envolve, em sua grande maioria, a combinação de fibras de aço com fibras de poli álcool vinílico (PVA), polipropileno (PP) e polietileno (PE). Em ensaios de flexão, ficou demonstrado que a hibridização com fibras de aço e PVA aumentou a resistência última a flexão e resistência a primeira fissura. A incorporação de fibras de PE elevaram a tenacidade de compósitos superando assim os CPs com apenas fibras de aço. É notável o efeito sinérgico entre as fibras de aço e PP, onde esta devido à natureza hidrofóbica gera pontos de maiores resistência na matriz e a fibra de aço por possuir uma maior rigidez interliga esses pontos resultando em um desempenho mecânico superior dos compósitos. Foi demonstrado que as fibras poliméricas por seu baixo módulo de Elasticidade, comparado ao do aço, agem como pontes de tensões entre as microfissuras retardando o crescimento destas fazendo com que surjam novas microfissuras aprimorando assim a capacidade de deformação.

Nos experimentos com o uso híbrido de fibras poliméricas pode se observar os efeitos gerados pelo comprimento, diâmetro, seção transversal e rugosidade. O uso de micro e macrofibras resultou em um efeito conjunto, sendo que a primeira atua como ponte de tensão nas microfissuras elevando a resistência à primeira fissura e a segunda proporcionou um aumento na resistência última dos compósitos. Nota-se que em todos os compósitos a hibridização melhorou a capacidade de absorver energia porem, à medida que o volume de fibras poliméricas é elevado o índice de vazios na matriz aumenta causando redução na resistência a compressão dos CPs.

A adição de fibras naturais em compósitos reforçados com fibras de aço e fibras poliméricas não obteve grandes resultados. Incorporadas a matriz cimentícia, as fibras naturais elevaram o número de vazios e afetaram a absorção de água, gerando um efeito negativo no travamento/ligação entre a matriz e as fibras fazendo com que houvesse um decréscimo no comportamento mecânico. Todavia, as fibras de bagaço atrasaram a ocorrência de fissuras nos compósitos melhorando a distribuição de fissuras pelo CP de maneira uniforme.

Conclusões

A respeito dos resultados obtidos pelos artigos presentes no portfólio, pode-se concluir que:

A eficiência da hibridização através das fibras metálicas + metálicas, devido a alta resistência e rigidez, mostrou ser mais significativa do que outros tipos de hibridização. A utilização de fibras de aço com fibras de baixo módulo mostra-se bastante eficiente, onde que as primeiras atuam na elevação das resistências mecânicas dos compósitos e as segundas melhoram a capacidade de deformação e ductilidade. A geometria da fibra (comprimento, diâmetro e forma) afeta diretamente as propriedades do concreto no estado fresco e endurecido. O volume de fibras híbridas é um fator importante e pode influenciar nas propriedades físicas e mecânicas do concreto. Foi observado que há um certo volume máximo de fibras (geralmente < 2,5%) incorporados a matriz para que não haja grande efeitos negativos.

Na etapa de Análise Bibliométrica do Portfólio foi observada que a maioria dos artigos, em número de 24, foram publicados nos anos de 2016 a 2018, o que demonstra a importância do tema de hibridização nos estudos e pesquisas atuais;

Agradecimentos

Agradeço a Deus, aos meus pais por estarem sempre me apoiando e incentivando. Ao Professor Vladimir José Ferrari pela oportunidade, orientação e conselhos. Agradeço também a CNPQ/FA-UEM pelas bolsas concedidas durante o período do projeto

Referências

AFONSO, M. H. F.; SOUZA, J. V. DE; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Como Construir Conhecimento Sobre O Tema De Pesquisa? Aplicação Do Processo Proknow-C Na Busca De Literatura Sobre Avaliação Do Desenvolvimento Sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 47–62, 2012.

NUNES, V. A., et al. Utilização de argamassa geopolimérica reforçada com fibras para reparo estrutural: uma análise bibliométrica. **Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON** (2017).

PAKRAVAN, H. R.; JAMSHIDI, M.; LAFITI, M. Study on fiber hybridization effect of engineered cementitious composites with low- and high-modulus polymeric fibers. **Construction and Building Materials** 112 (2016) 739–746.

PAKRAVAN, H. R.; LAFITI, M.; JAMSHIDI, M. Hybrid short fiber reinforcement system in concrete: A review. **Construction and Building Materials** 142 (2017) 280–294.