

AVALIAÇÃO DA ADIÇÃO DE FIBRAS POLIMÉRICAS EM MATRIZ CIMENTÍCIA

Vanessa Gabrielle da Silva¹, Indira Teixeira Bessa de Oliveira², Ivone Regina de Oliveira¹.

¹Universidade do Vale do Paraíba/Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova - 12244-000 - São José dos Campos-SP, Brasil, vanessa.sgabrielle@gmail.com, ivonero@univap.br

²Instituto de Química – Universidade Estadual Paulista – Araraquara -SP Brasil, argindiraoliveira@gmail.com

Resumo

A matriz cimentícia, composta por cimento e água, é um dos principais constituintes do concreto, adquirindo resistência mecânica por meio da hidratação do ligante hidráulico. Este estudo avaliou o desempenho de duas formulações: uma com cimento Portland (PO) aditivado com agente cristalizante e outra com ligante hidráulico à base de alumina associado a materiais finos (ANE). Em ambas as matrizes, incorporou-se 0,12 %-v de fibras de álcool polivinílico (PVA), com o objetivo de reforçar a matriz, aumentar a tenacidade e controlar a propagação de fissuras. Os resultados indicaram boa aderência fibra-matriz nas duas composições. Contudo, a formulação com ligante alternativo (MC-ANE) apresentou ganho de resistência à compressão uniaxial e redução da porosidade quando adicionadas fibras de PVA, evidenciando o potencial desse reforço para aplicações que demandam elevado desempenho mecânico e durabilidade.

Palavras-chave: matriz cimentícia; fibra polimérica; durabilidade;

Área do Conhecimento: Engenharia de Materiais.

Introdução

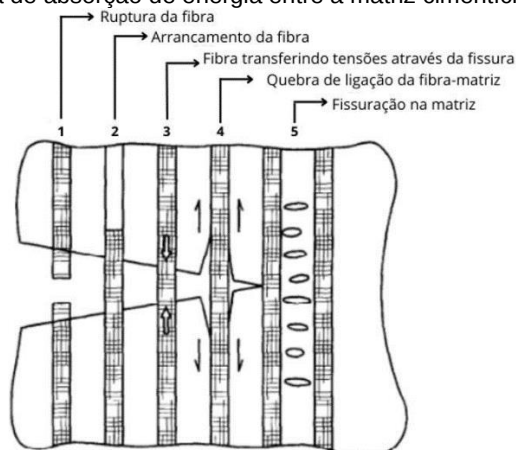
Há uma crescente preocupação com os impactos ambientais provenientes da produção de cimento Portland (PO) uma vez que, embora seja amplamente utilizado na construção civil, sua produção está associada a altos níveis de consumo energético e emissão de gases de efeito estufa, como o CO₂. Para mitigar esses efeitos, novas formulações vêm sendo estudadas, incluindo o uso de ligantes hidráulicos alternativos a base de alumina e a incorporação de materiais como fibras naturais ou sintéticas visando melhorar as propriedades físico-químicas e a durabilidade da matriz. As fibras sintéticas, especialmente as de álcool polivinílico (PVA), são projetadas para se dispersarem uniformemente e oferecerem características vantajosas como leveza, resistência química e maior controle de fissuras (Worrell, et al. 2001; Cunha, 2019).

O uso de fibras para reforço de matrizes cimentícias tem origens antigas, quando civilizações utilizavam materiais naturais como palha e pelos de animais para melhorar a resistência de argamassas e tijolos. No entanto, foi apenas no século XX que a tecnologia evoluiu com a introdução de fibras sintéticas poliméricas, proporcionando melhorias significativas na durabilidade das estruturas. Essas fibras atuam na dissipação de energia ao longo da matriz, contribuindo para o controle de fissuras e aumento da vida útil do material. O processo de interação entre fibra e matriz como apresentado na Figura 1 pode envolver diferentes mecanismos, como ruptura da fibra, arrancamento, transmissão de tensões através de fissuras e falha na interface de ligação (Toledo, 2010).

O uso de fibras de PVA é indicada como uma alternativa eficaz ao asbesto, por apresentarem propriedades superiores. As fibras de PVA oferecem alta resistência à tração e à flexão, excelente aderência química à matriz cimentícia, estabilidade em ambientes alcalinos, resistência à radiação UV e à corrosão, além de serem leves. Essas características tornam as fibras de PVA um material altamente eficiente e seguro para o reforço de matrizes cimentícias em aplicações modernas, contribuindo para estruturas mais duráveis e sustentáveis (Monte, 2014).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 1: Esquema de absorção de energia entre a matriz cimentícia e a fibra sintética.



Fonte: Adaptado de Zollo (1996).

O PVA, um material semicristalino, hidrossolúvel e sólido, se destaca por sua versatilidade e por apresentar características que o tornam ideal para aplicações nas áreas farmacêutica e alimentícia. Ao contrário da maioria dos polímeros, ele não é obtido diretamente por polimerização simples, mas sim por duas etapas: a polimerização do acetato de vinila e sua posterior hidrólise. Descoberto em 1924 por Herrman e Haehnel, o PVA continua sendo amplamente estudado e utilizado devido à sua relevância tecnológica e industrial.

Dentro desse contexto, esse estudo avaliou o desempenho de duas composições de matriz cimentícia: uma formulada com o ligante PO aditivado com cristalizante e outra à base de ligante hidráulico alternativo a base de alumina e outros finos (ANE). Investigou-se a incorporação de fibras de PVA com teor de 0,12 %-v, com o objetivo de reforçar a matriz, promovendo a absorção de energia e o controle da propagação de fissuras.

Metodologia

Este estudo foi realizado no Laboratório de Desenvolvimento de Materiais Avançados do Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento da Universidade do Vale do Paraíba (IP&D-UNIVAP) e envolveu a preparação de dois tipos de matrizes cimentícias: uma de referência (MC-PO), composta por cimento Portland (CPIII da Votorantim) contendo 1%-p de aditivo cristalizante (ADMIX da PENETRON), e outra com ligante hidráulico alternativo (MC-ANE), contendo outros finos. Ambas as matrizes receberam a adição de fibras poliméricas de PVA (Kuraray) com teor de 0,12 %-v.

As fibras foram misturadas ao pó da matriz cimentícia por homogeneização a seco, seguida da adição de água, moldagem em diferentes formatos e cura por 28 dias a temperatura ambiente. A cura das amostras de MC-PO foi realizada em solução saturada de cal.

Após o processo de cura, as amostras foram caracterizadas por meio de ensaios de resistência mecânica à compressão uniaxial, resistência mecânica à flexão, porosidade aparente e densidade real com o objetivo de avaliar o desempenho das matrizes reforçadas com fibras de PVA.

O ensaio mecânico de resistência à compressão uniaxial foi realizado em amostras cilíndricas, (obedecendo à norma ABNT NBR 7215/1996) usando uma máquina de ensaios mecânicos DL 10000, da marca EMIC, com uma velocidade de 0,15 mm/min. A tensão de ruptura σ_R (MPa) foi calculada de acordo com a equação 1:

$$\sigma_R = \left[\frac{4P}{\pi D^2} \right] \quad (1)$$

onde P (N) é a carga máxima exercida para fraturar cada amostra e D (mm) é o diâmetro médio das amostras (Nash; Potter, 2014)

Quanto ao ensaio mecânico de resistência à flexão em três pontos foram utilizadas amostras na forma de barras, usando a mesma máquina de ensaios mecânicos DL 10000, da marca EMIC

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

(obedecendo à norma ASTM C674/2006) com a velocidade de 0,5 mm/min. Para o cálculo do módulo de ruptura (σ_R) foi empregada a equação 2:

$$\delta_R = \left[\frac{3Fl}{2bd^2} \right] \quad (2)$$

onde F (N) é a força máxima da fratura, l (mm) é a distância entre os apoios, b (mm) é largura e d (mm) é a espessura da amostra (Ortiz, 1991).

Após a realização dos ensaios mecânicos, os corpos de prova (CDPs) foram submetidos à secagem em estufa a 120 °C, visando preparar a superfície fraturada para análise microscópica. Em seguida, a região de ruptura foi examinada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV, equipamento EVO-MA10, Zeiss).

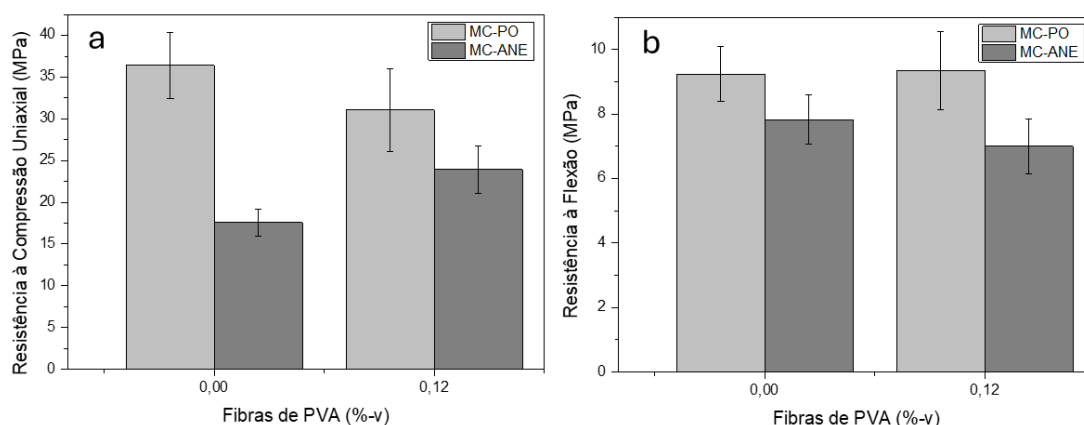
O ensaio de porosidade aparente foi realizado em CDP's em formato cilindros (16 mm de diâmetro x 18 mm de altura). Estes foram mantidos em 110 °C em estufa por 24 horas, sendo após pesados a seco (M_s) e após 1 hora de imersão em querosene sob vácuo, as amostras foram novamente pesadas imersas no líquido (M_i) e úmidas (M_u), em triplicata. Este ensaio é baseado no princípio de Archimedes, de acordo com a ABNT NBR 6220 de 2011. Assim, a porosidade aparente é calculada pela massa de líquido retida em seus poros abertos como apresentado pela equação 3:

$$PA = \left[\frac{(M_u - M_s)}{(M_u - M_i)} \right] \times 100 \quad (3)$$

O ensaio de densidade real foi realizado em amostras quadradas (20 mm de comprimento x 20 mm de largura x 4 mm de espessura) e com o uso de picnômetro à hélio (Ultracyc 1200e, v5.04., da marca Quantachrome).

Resultados

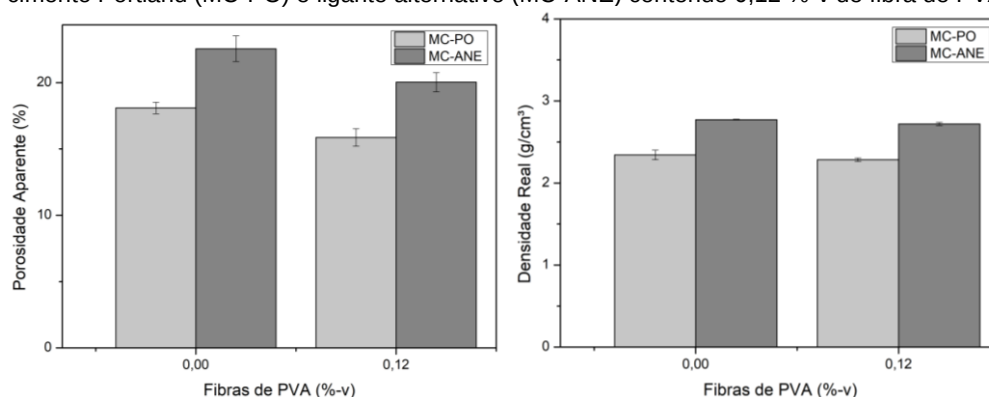
Figura 2: Resistência mecânica (a) compressão uniaxial e (b) flexão em três pontos de diferentes matrizes cimentícias preparadas com cimento Portland (MC-PO) e ligante alternativo (MC-ANE) contendo 0,12 %-v de fibra de PVA.



Fonte: A autora

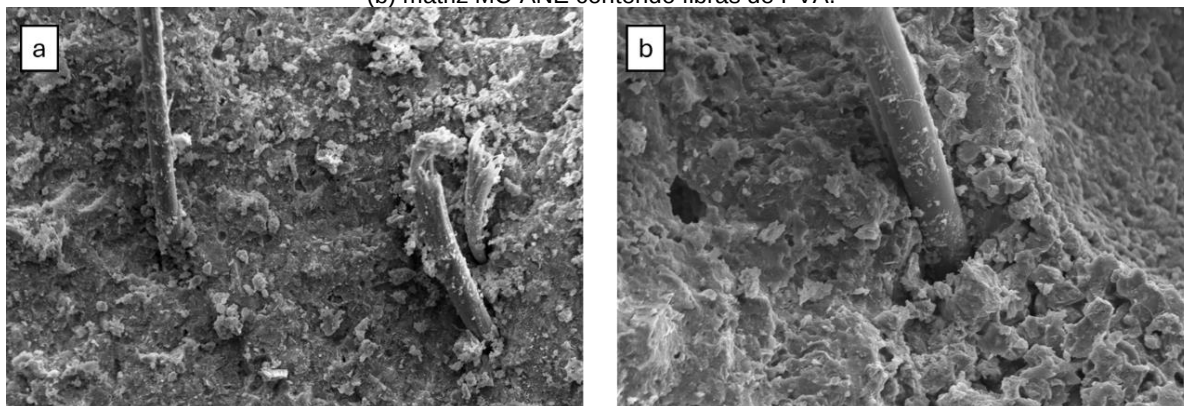
A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

Figura 3: (a) Porosidade aparente e (b) densidade real de diferentes matrizes cimentícias preparadas com cimento Portland (MC-PO) e ligante alternativo (MC-ANE) contendo 0,12 %-v de fibra de PVA.



Fonte: A autora

Figura 4: Microscopias eletrônicas de varredura da superfície de fragmentos de amostras de (a) matriz MC-PO e (b) matriz MC-ANE contendo fibras de PVA.



Fonte: A autora

Discussão

Do ponto de vista mecânico, foi observado pequeno aumento da resistência à compressão uniaxial na matriz MC-ANE acompanhado de uma pequena redução na porosidade aparente com a adição de fibras de PVA, indicando a atuação do aditivo como reforço. Já para a resistência à flexão e a densidade foram observados resultados mais próximos antes e após adição de fibras.

Na análise MEV, foram identificados em ambas as matrizes resíduos de matriz aderidos à superfície das fibras, evidenciando uma boa interação fibra-matriz.

Conclusão

Ambos os sistemas apresentaram boa aderência entre as fibras e a matriz cimentícia. O teor de 0,12 %-v demonstrou desempenho promissor, sobretudo na resistência à compressão uniaxial e na redução da porosidade aparente da matriz MC-ANE. Esses resultados indicam que a adição de fibras pode contribuir positivamente para o desempenho do compósito.

Entretanto, torna-se necessário aprofundar os estudos sobre diferentes teores de fibra e sua adequada dispersão na matriz, a fim de minimizar a formação de aglomerados e potencializar os benefícios mecânicos e físicos observados, consolidando o uso das fibras como reforço.

Referências

STRUBLE, L. et al. **Rheology of cement paste and concrete**. *Cement, Concrete and Aggregates*, v. 20, n. 2, p. 269-277, 1998.

CASTRO, V. G. **Compósitos madeira-cimento: um produto sustentável para o futuro**. Mossoró: EdUFERSA, 2021. 127 p. ISBN 978-65-87108-26-1.

BENTUR, A.; MINDESS, S. *Fibre reinforced cementitious composites*. United Kingdom: Elsevier, 1990.

CUNHA, F. G. **Efeito da adição de fibras como reforço de concreto leve formulado usando múltiplos resíduos**. 107 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO CIMENTO PORTLAND – ABCP. 2012.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MONTE, R. **Avaliação da tenacidade de concretos reforçados com fibras através de ensaios com sistema aberto**. *Matéria* (Rio J.), v. 19, n. 2, p. 132, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo apoio incondicional, carinho e por sempre acreditarem em mim, incentivando-me a buscar os meus sonhos e a nunca desistir dos meus objetivos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Ivone Regina de Oliveira, expressei minha profunda gratidão por sua orientação cuidadosa, dedicação, paciência e por compartilhar comigo seus conhecimentos ao longo deste percurso.

À minha coorientadora, Me. Indira Teixeira Bessa Bastos de Oliveira, agradeço sinceramente pela constante disponibilidade, pelas valiosas contribuições e por me acolher.

Agradeço, ainda, aos alunos de mestrado e doutorado do Laboratório de Processamento de Materiais do IP&D, pelo auxílio, incentivo e por compartilharem experiências que enriqueceram minha trajetória de pesquisa.

À Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), pela infraestrutura e suporte oferecidos, e ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-CNPq), pelo apoio financeiro, que foi essencial para o desenvolvimento deste projeto.