

Concreto reforçado com fibras: aplicabilidade, dosagem e controle

FÁBIO LUÍS PEDROSO - EDITOR - <https://orcid.org/0000-0002-5848-8710> (fabio@ibracon.org.br)

A junção de dois materiais construtivos para combinar as propriedades desses materiais e melhorar o desempenho do compósito é uma ideia intuitiva e antiga. Os egípcios e hebreus da Antiguidade adicionavam palha aos tijolos de barro secos ao sol para que esses resistissem à fissuração e à fragmentação induzidas por variações repetitivas de temperatura e umidade. Esta combinação está registrada no livro de Êxodo, da Bíblia, nos versículos sexto e sétimo: “Naquele mesmo dia, o Faraó deu esta ordem aos inspetores do povo e aos capatazes: não continueis a fornecer palha ao povo, como antes, para o fabrico dos tijolos”.

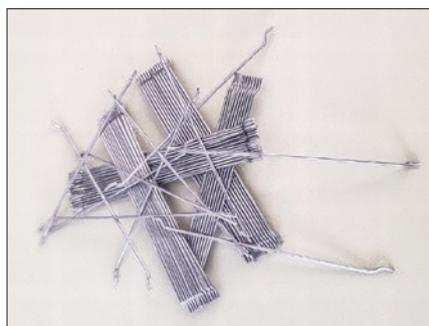
Na modernidade, não demorou para que se percebesse, com o desenvolvimento do cimento Portland e do concreto, que as estruturas de concreto deveriam receber um reforço de aço, para compensar a baixa resistência do concreto às forças de tração e flexão. Em 1847, Joseph Lambot obteve uma patente que sugeria a adição de fibras contínuas de arame ou de tela de arame ao concreto fresco, para reforçar sua resistência aos esforços de tração. Surgia a noção inicial do concreto armado.

Em 1874, foi concedida, na Califórnia, nos Estados Unidos, a primeira patente de um concreto com adição de sucatas de ferro, a Berard. Já, em 1899, Hatschek desenvolveu o cimento amianto, que nada mais é do que um compósito de cimento e fibras minerais, usado até recentemente na produção de coberturas e tubos. O passo seguinte foi adicionar peças curtas de aço ao concreto, para aumentar a estabilidade do concreto armado, proposta feita em 1911 por Grahan (NAAMAN, 1985). Nascia assim a concepção do concreto reforçado com fibras.

Nesta breve descrição, nota-se que o concreto, material de comportamento frágil, isto é, com baixa capacidade de

deformação e ruptura brusca, foi reforçado com aço, inicialmente na forma de ar-

maduras dispostas em sua porção sujeita a flexão e tração e, posteriormente, na



A



B



C



D



E

FIGURA 1

FIBRAS METÁLICAS COM ANCORAGEM (A), FIBRAS METÁLICAS CORRUGADAS PLANAS (B), FIBRAS METÁLICAS CORRUGADAS CILÍNDRICAS (C) E FIBRAS SINTÉTICAS (D E)

forma de pequenas fibras descontínuas distribuídas aleatoriamente. Assim, em peças sujeitas a esforços localizados de tração e flexão, como vigas e lajes, foram dispostos vergalhões para contrabalançar essas cargas, como as peças projetadas por Hennenbique no final do século XIX. Por sua vez, em peças submetidas a esforços de tração e flexão em todos os sentidos, o reforço foi conseguido com o uso de fibras de aço. Esta ideia já estava contemplada na patente de Martin, de 1927, que descrevia o uso de fibras de arame retas ou onduladas para reforço de tubos de concreto. Etheridge propôs, em 1933, a utilização de fibras anulares de tamanhos diferentes para melhorar a resistência à fissuração e à fadiga do concreto usado em dormentes de ferrovias.

Os propósitos do uso do concreto reforçado com fibras já estavam bem compreendidos na patente obtida por Constantinesco, na Inglaterra, em 1943, e nos Estados Unidos, em 1954: aumentar a resistência à fissuração e a capacidade de absorção de energia pelo compósito (tenacidade).

Apesar disso, poucas foram as aplicações do concreto com fibras até que estudos sistemáticos para sua utilização comercial terem sido iniciados a partir de 1971, nos Estados Unidos, Reino Unido e Japão (TEZUKA, 1989). Esses estudos levaram a um melhor entendimento da mecânica de reforço com fibras e à identificação das características desejáveis das fibras em função das aplicações. Elas foram responsáveis pela introdução de fibras de diferentes materiais – como de aço, vidro, minerais e polipropileno –, com diferentes geometrias e formatos, com ou sem ancoragem, no mercado da construção (Figura 1).

O mercado global do concreto reforçado com fibras vem paulatinamente crescendo desde então (Figura 2). Uma pesquisa da *Allied Market Research*, feita em 2023, prevê seu crescimento em 8,2% no período de 2022 a 2031, quando deve atingir 4,8 bilhões de dólares.

CONTROLE DA FISSURAÇÃO PROMOVIDO PELAS FIBRAS

No processo de hidratação do cimento, há perda de água na mistura por evaporação da água devido à temperatura de rea-

ção e à temperatura ambiente, com conseqüente retração de volume do concreto. A retração da pasta é restringida pelos agregados, o que gera tensões de tração na pasta e sua microfissuração. Isto ocorre naturalmente no endurecimento do concreto.

Ao se adicionar fibras ao concreto, distribuídas aleatoriamente, algumas delas formam pontes sobre as microfissuras na pasta, funcionando como canais de transferência de tensões e, assim, reduzindo sua concentração nas bordas das fissuras (Figura 3), concentração que ocasionaria a abertura e propagação dessas fissuras na pasta de concreto.

O controle da fissuração pelas fibras reduz a microfissuração do concreto, concorrendo para tornar o elemento de concreto menos suscetível ao ataque de agentes agressivos do meio, como dióxido de carbono e cloretos, que, no longo prazo, acabam por deteriorar as armaduras no interior do elemento estrutural.

Para este tipo de uso das fibras, generalizado no Brasil e no mundo, utilizam-se microfibras de aço, sintéticas e de vidro. Uma obra da engenharia nacional que fez uso das microfibras para controlar fissuração foi o pavimento restaurado do vão central da Ponte Rio-Niterói, que anteriormente e por anos apresentou sérios e repetidos problemas de fissuração.



FIGURA 2

LANÇAMENTO DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

RESISTÊNCIA À FADIGA E COMPORTAMENTO PSEUDODÚCTIL DO CRF

O concreto reforçado com fibras submetido a cargas repetitivas e dinâmicas tem uma melhor distribuição de tensões de tração por toda a extensão do compósito, fazendo com que o elemento de concreto se comporte como uma placa flexível, o que minimiza sua fissuração e, conseqüentemente, aumenta sua vida útil, ao impacto. Essa capacidade do elemento de absorver impactos repetitivos por um longo período

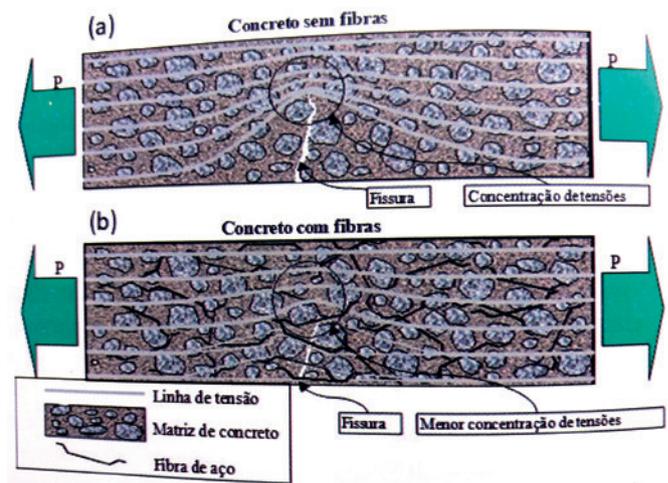


FIGURA 3

ESQUEMA DE CONCENTRAÇÃO DE TENSÕES EM CONCRETO SIMPLES E CONCRETO COM FIBRAS

FONTE: FIGUEIREDO *et. al* (2022)

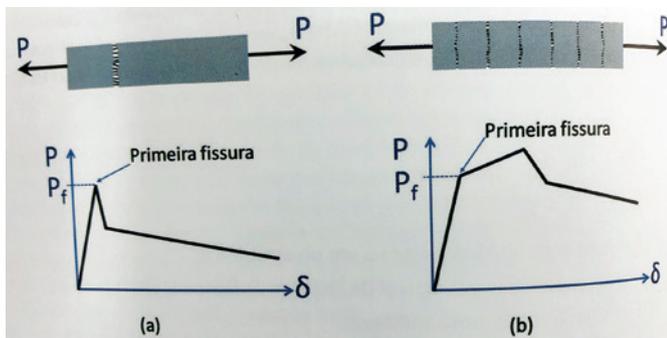


FIGURA 4

DIAGRAMAS DE FORÇA POR DEFORMAÇÃO TÍPICOS DOS COMPORTAMENTOS *SOFTENING* (A) E *HARDENING* (B)

FONTE: FIGUEIREDO *et. al* (2022)

de tempo, preservando sua funcionalidade, é sua tenacidade.

Quanto mais tenacidade tiver o concreto, maior será sua resistência à fadiga, isto é, a esforços cíclicos, como os produzidos por rodas de veículos em pavimentos e de máquinas em pisos industriais.

Por sua vez, quando a tensão de tração ou flexão ultrapassa os valores de resistência do concreto, rompendo-o, as fibras, como as armaduras de aço, atuam para que o elemento estrutural não colapse de imediato. Neste caso, a carga é suficiente para vencer a resistência mecânica da matriz de concreto, mas não das armaduras e das fibras. As armaduras servem sobretudo para garantir a segurança dos usuários após o rompimento da matriz de concreto, porque elas atuam no estado limite último, ou seja, para evitar o colapso da estrutura por meio do escoamento progressivo do aço, de modo que a conferir tempo para que o usuário abandone a obra. Já, as fibras servem, no estágio pós-fissuratório crítico, para dar sobrevida à estrutura, evitando, tanto quanto possível, que está entre na fase de colapso. Elas buscam manter o estado último de serviço da estrutura, o ponto no qual ainda é possível manter sua funcionalidade, com segurança.

Isto ocorre devido à maior resistência à tração do conjunto de fibras e ao seu maior módulo de elasticidade. Isto garante que as fibras não se rompam, mas se alonguem, provocando a deformação da estrutura sem levar ao seu colapso. Sendo assim, as fibras conferem ao concreto, um compósito frágil, que colapsa quase sem se deformar,

tenente à tração superior a que apresentava antes do rompimento, sua resistência residual. Este comportamento '*strain-hardening*' é explicado pelo fato de haver um número tão grande de fibras costurando as fissuras que o somatório de suas resistências individuais à tração ultrapassa o valor da resistência à tração da matriz de concreto. "Este tipo de comportamento é requerido em elementos estruturais com esforços de flexão elevados, como em vigas e lajes", explica o coordenador do CT 303 (Comitê Técnico do IBRACON de Materiais não convencionais), Prof. Marco Cárnio.

Por outro lado, quando o teor de fibras é baixo, este somatório não se equipara à resistência à tração da matriz e o concreto reforçado com fibras vê sua resistência residual à tração cair à medida que se alonga, apresentando o comportamento '*strain-softening*'. "Ele é recomendado para aplicações em que os elementos estruturais têm interface com o meio elástico, como em pavimentos, pisos, radiers e concreto projetado, bem como em aplicações de concreto armado ou protendido", esclarece Cárnio.

um comportamento pseudodúctil, que se deforma antes de colapsar.

Esse comportamento pseudodúctil do concreto reforçado pode ser de dois tipos, a depender do teor das fibras (Figura 4). O volume adicionado de fibras no concreto pode ser de tal ordem que este, ao se romper, apresentará uma capacidade resis-

Como as fibras são cerca de três vezes mais caras que o cimento, seu uso é especificado para determinados tipos de aplicações. Além disso, sua adição aumenta a viscosidade do concreto fresco, reduzindo produtividade de execução, e requer profissionais e empresas habilitados para elaborar a dosagem e o controle tecnológico do concreto reforçado com fibras.

"Tradicionalmente, seu maior uso é em pisos de concretos para galpões, seguido por concretos projetados. Porém, ultimamente sua aplicação tem avançado para paredes de concreto, radiers e pré-fabricados", exemplifica Cárnio (Figura 5).

FATORES IMPORTANTES NA DOSAGEM DAS FIBRAS

Viu-se que o teor de fibras é um parâmetro importante para determinar o comportamento do concreto reforçado com fibras.

Outro parâmetro importante de dosagem da fibra é seu comprimento crítico, aquele que possibilita atingir sua tensão de ruptura. À medida que a fibra é arrancada da matriz de concreto, aumenta a parcela da tensão por atrito relativamente à parcela da tensão elástica. Por isso, o comprimento da fibra e sua seção transversal são determinantes da força de aderência e, conseqüentemente, da resistência pós-fissuração do concreto reforçado com fibra.

No comprimento crítico, a fibra, ao ser arrancada, rompe, justamente por sua



FIGURA 5

CRF APLICADO EM RADIER

tensão por atrito ser maior que sua tensão elástica. Por isso, as fibras precisam ser menores que seu comprimento crítico, para terem maior tenacidade e ductilidade.

O comprimento crítico da fibra é definido pelo fabricante por meio do ensaio de arrancamento, que consiste em submeter uma amostra à tração uniaxial até que a fibra seja removida da matriz.

O parâmetro adimensional do fator de forma – relação entre o comprimento da fibra e sua seção transversal – considera a influência simultânea dessas grandezas no comportamento do concreto, servindo de requisito mínimo para a qualificação das fibras. Desde que não ultrapasse o comprimento crítico, quanto maior o fator de forma, maior será a capacidade resistente pós-fissuração do concreto reforçado com fibra.

Para que a fibra atue como reforço do concreto, não como reforço da pasta do concreto, recomenda-se que seu comprimento seja igual ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado graúdo. Com tal dimensão, a fibra atuará para conter as fraturas que se propagam preferencialmente na interface entre agregado e pasta. Assim, em pavimentos utilizam-se fibras de até 60 mm, compatíveis com agregados de 19 a 25 mm; já, no concreto projetado, utilizam-se fibras de 25 a 35 mm, compatíveis com agregados de 9,5 mm, necessários para que o concreto passe pelo mangote (Figura 6).

Por fim, as fibras com ancoragem devem ser usadas para aplicações nas quais se preveem baixos níveis de deformação. Isto porque a ancoragem traz maior aderência da fibra à matriz enquanto não houver esforços que provoquem sua deformação e ruptura.

Esses parâmetros são recomendações gerais de dosagem de fibras. Devido à complexidade de fatores que influenciam a interação entre matriz e fibras, como composição da matriz, geometria da fibra, material da fibra, característica superficial da fibra, orientação das fibras e durabilidade das fibras, cada aplicação requer dosagem adequada e devidamente informada pelas normas técnicas pertinentes, para que se garanta a viabilidade econômica e o consumo mínimo necessário de fibras no concreto.

“As dosagens mais usuais são relativamente baixas, entre 0,25% e 0,75% do peso

específico do material da fibra”, complementa Cárnio. Segundo ele, dosagens mais altas requerem estudos mais elaborados para a homogeneização das fibras no concreto.

CONTROLE DA QUALIDADE DAS FIBRAS E DO CRF

No Brasil, há um conjunto de normas técnicas para o controle da qualidade das fibras e para o controle tecnológico do concreto reforçado com fibras.

No que diz respeito às fibras de aço, a ABNT NBR 15530 classifica as fibras de aço e orienta sobre requisitos e tolerâncias, principalmente sobre sua geometria e resistência. Ela parte da resistência mínima de 500 MPa



FIGURA 6

CRF DOSADO PARA PREENCHER AS FÔRMAS DO SISTEMA DE PAREDES DE CONCRETO

e traz diferentes níveis de resistência mínima em função do tipo e classe da fibra.

São três tipos normatizados: fibras de aço com ancoragens; fibras de aço corrugada; e fibras de aço retas. E três classes segundo o formato da seção transversal, que é função do tipo de aço utilizado na produção: fibras oriundas de arame trefilado a frio; fibras originadas de chapa laminada cortada a frio; e fibras providas de arame trefilado e escarificado.

Para a pré-qualificação da resistência das fibras pelos fabricantes, usam-se as normas brasileira ABNT NBR 6207

e ASTM A370 para os ensaios de tração.

A ABNT NBR 15530 tolera 10% de variação do comprimento e 5% de variação do valor do diâmetro da fibra em relação aos valores especificados, para reduzir variabilidade nas propriedades das fibras no concreto. A medição das dimensões deve ser feita numa amostra de 60 fibras de um lote de quatro toneladas.

Já, a verificação de defeitos nas fibras, como emendas, corte da ancoragem e oxidação, é feita numa amostra mínima de 200 g por lote. O lote é aceito quando a amostra apresenta, no máximo, 5% da massa de fibras com defeito.

Já, as fibras poliméricas são classificadas pela ABNT NBR 16942 em microfibras e macrofibras: estas têm função de reforço estrutural do concreto, enquanto aquelas têm função de controle de fissuração e proteção passiva contra lascamentos do concreto.

Por fim, as fibras de vidro álcali-resistentes são classificadas pela ABNT NBR 16941, que traz também requisitos mínimos e métodos de ensaio.

Um aspecto importante para o controle da qualidade das fibras é avaliar seu potencial de degradação nas matrizes cimentícias. As fibras metálicas são compatíveis com o ambiente alcalino no interior do concreto. No entanto, os agentes agressivos do meio podem causar sua corrosão. Para evitar isto, a ABNT NBR 15530 recomenda que elas sejam revestidas com zinco ou ligas de zinco e alumínio, cabendo ao fabricante declarar o tipo e quantidade deste revestimento.

Com relação às fibras poliméricas, algumas são instáveis (como as de polietileno tereftalato, PET), enquanto outras não (como as de polipropileno, PP), em ambiente alcalino. Em vista disso, a NBR 16942 exige que as fibras poliméricas usadas no concreto sejam resistentes em meio alcalino, o que deve ser declarado pelo fabricante. A norma preconiza o ensaio acelerado de submeter as fibras numa solução de hidróxido de sódio, durante 30 dias, a 60°C, para verificar a perda de massa e alterações superficiais e estruturais dos filamentos da fibra.

Por fim, a exposição das fibras de vidro a um ambiente alcalino leva a um rápido processo de deterioração, com perdas de resistência, massa e diâmetro do filamento. Para mitigar esse processo, a ABNT NBR 16941 especifica um teor mínimo de 16% de

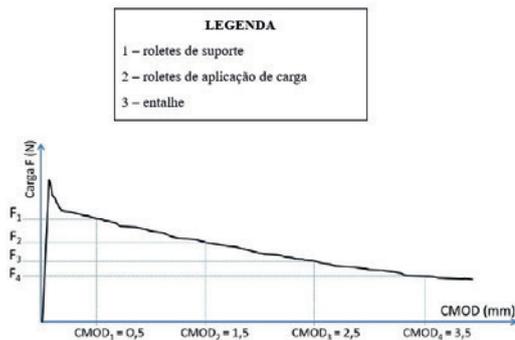
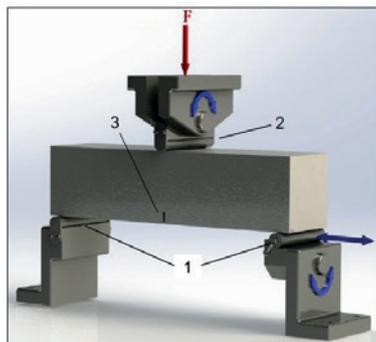


FIGURA 7

ESQUEMA DO ENSAIO DE FLEXÃO COM ENTALHE

dióxido de zircônia para fibras de vidro a serem usadas no concreto.

O controle tecnológico do concreto reforçado com fibras é realizado pelo método de flexão com entalhe preconizado na norma ABNT NBR 16940. Consiste em submeter um corpo de prova prismático, com dimensões de 150 mm x 150 mm x 550 mm,

no qual é feito um entalhe de 5mm de espessura no centro de sua face inferior, a uma carga central na sua face superior para provocar sua flexão e a abertura do entalhe. A curva gerada de carga x abertura é analisada para determinar a resistência à tração na flexão, as resistências residuais e o limite de proporcionalidade (Figura 7).

Atualmente, o principal desafio do controle tecnológico do CRF no país é conseguir uma rede de laboratórios com capacidade suficiente para realização dos ensaios com condições mínimas de reprodutibilidade. Os problemas vão desde a uniformidade na moldagem dos corpos de prova (garantindo que haja um tempo mínimo de permanência sobre a mesa vibratória), passando pela limpeza adequada dos cutelos (para garantir sua rolagem sem bloqueios), até o controle de saturação dos corpos de prova nas câmaras de cura (cujo índice altera a resposta do material).

“A falta de mais laboratórios de tecnologia do concreto, com competência e infraestrutura adequadas, é um dos fatores limitantes para maior uso das fibras no concreto em nosso país”, opina Cárnio. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACCETTI, K; PINHEIRO, L. Tipos de fibras e propriedades do concreto com fibras. São Paulo: IBRACON, 2000
- [2] FIGUEIREDO, A.D. Concreto reforçado com fibras. Tese (Livro Docência). São Paulo: EPUSP, 2011
- [3] FIGUEIREDO, A.D.; MONTE, R; BITENCOURT JR, L.A.G. Concreto com fibras. IN: Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2022

NO PRUMO

Compartilhar teoria e prática da construção civil, com leveza, didatismo e criatividade. Esta é a proposta do livro “No Prumo”.

O livro é dividido em duas partes. A primeira traça a história da construção no Brasil e sua relação com a cultura. A segunda revela, na prática, os conceitos e as técnicas consolidadas ao longo dessa história.

A publicação oferece uma leitura atual de temas que vão do projeto e da análise de solo ao serviços de concretagem, sistemas construtivos e sustentabilidade.

Com textos de Paulo Helene, professor titular da USP e diretor-presidente do IBRACON, e diretor da PhD Engenharia, e de Guilherme Aragão, jornalista e escritor, especialista em formação política e econômica do Brasil.

FORMATO: 21 x 29 cm

PÁGINAS: 170

ANO: 2017

VENDAS: Loja virtual (www.ibracon.org.br)



PRODUÇÃO



PATROCÍNIO



REALIZAÇÃO

