

Concreto reforçado com fibras: projeto de viga no ELU

RICARDO L. J. DE ALMEIDA – GRAD., ricardoljalmeida@gmail.com; GUILHERME PARSEKIAN, PROF. DR., UFSCAR, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5939-2032>; MARCO ANTONIO CARNIO – PROF. DR., PUC CAMPINAS

R E S U M O

Recentemente, foram publicadas as primeiras normas técnicas brasileiras sobre estruturas de concreto reforçado com fibras (CRF). A divulgação dessas normas amplia as alternativas de projetos e traz melhorias ao mercado da construção civil. Contudo, é essencial a compreensão das etapas de dimensionamento e verificações que devem ser realizadas. Diferente do concreto armado convencional, no CRF a resistência à tração não é desprezada. Neste artigo, são apresentadas as normas

recentemente publicadas e as verificações exigidas pela norma no Estado-Limite Último (ELU) para as solicitações normais (flexão) e tangenciais (cisalhamento). Um exemplo de viga de CRF é apresentado e seus resultados discutidos. Nos casos em que os esforços de flexão são preponderantes, a substituição das armaduras longitudinais por fibras pode não ser a solução mais viável. Por outro lado, a substituição dos estribos por fibras é uma alternativa que pode reduzir a mão de obra e o prazo de execução da obra.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS, NORMAS TÉCNICAS, DIMENSIONAMENTO, FIBRAS, ESTADO-LIMITE ÚLTIMO.

1. INTRODUÇÃO

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um material compósito em que as fibras são adicionadas ao concreto para conferir ductilidade e controlar a fissuração. O ganho que se tem com a substituição parcial ou total das barras de aço por fibras é evidenciado pela racionalização do canteiro de obras. Como as fibras são adicionadas diretamente na mistura, tem-se um ganho de produtividade no

processo e redução de mão de obra devido à eliminação da montagem de armadura.

No Brasil, as aplicações do CRF têm se intensificado principalmente pela publicação de normas sobre o assunto e podem ser divididas em três campos de abrangência: pavimentos industriais; concreto projetado para revestimento de túneis; e elementos pré-moldados (Figura 1).

As recentes pesquisas sobre CRF

nas universidades brasileiras investigam diferentes aspectos acerca do compósito, como seu comportamento quando sujeito a esforços de cisalhamento (Vitor, 2017; Nzambi *et al.*, 2022); influência do teor e fator de forma das fibras sobre o comportamento mecânico do CRF (Cardoso *et al.*, 2021); durabilidade relacionada à corrosão em concretos reforçados com fibras de aço (Bicelli *et al.*, 2021); propriedades térmicas do concreto reforçado com fibras



(a)



(b)



(c)

Figura 1

Aplicações do CRF: (a) pavimentos industriais; (b) elementos pré-moldados; (c) revestimento de túneis

Fonte: Autor (2021)

poliméricas (Amaral Jr. e Moravia, 2020); influência da matriz cimentícia sobre o comportamento do compósito (Leite e Castro, 2020); entre várias outras publicações. Na maioria dessas pesquisas, entretanto, a caracterização do CRF ocorreu de acordo com normas técnicas internacionais, como a europeia EN 14651 (2007), a americana ASTM C1609 (2019) e a japonesa JSCE-SF4 (1984), visto a inexistência de um procedimento estabelecido em norma técnica brasileira.

Nesse contexto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou, em fevereiro de 2021, normas que estabelecem requisitos, procedimentos e métodos de ensaios relativos às estruturas de concreto reforçado com fibras e seus materiais constituintes, conforme ilustrado na Figura 2. Esse conjunto de normas constitui as primeiras diretrizes técnicas sobre concreto reforçado com fibras desenvolvidas em âmbito nacional.

A divulgação das normas técnicas brasileiras sobre as estruturas de concreto reforçado com fibras amplia as alternativas de projetistas e construtores na hora de conceber uma estrutura. Diferente dos métodos para dimensionamento de concreto armado, a resistência à tração do concreto não é mais desprezada, uma vez que as fibras atuam após a fissuração do material.

Embora o concreto reforçado com fibras seja um material cujo comportamento e características são extensivamente pesquisados no ambiente científico, poucas são as publicações que discorrem sobre o dimensionamento e verificações de elementos estruturais de CRF, com destaque para o estudo de Buttigiol *et al.* (2018), no qual os autores realizaram ensaios de flexão de vigas de concreto armado reforçadas com fibras de aço e utilizaram os resultados experimentais para proceder as verificações recomendadas no Código Modelo *fib* 2010 (FIB, 2011). Nesse contexto, o objetivo desse artigo é

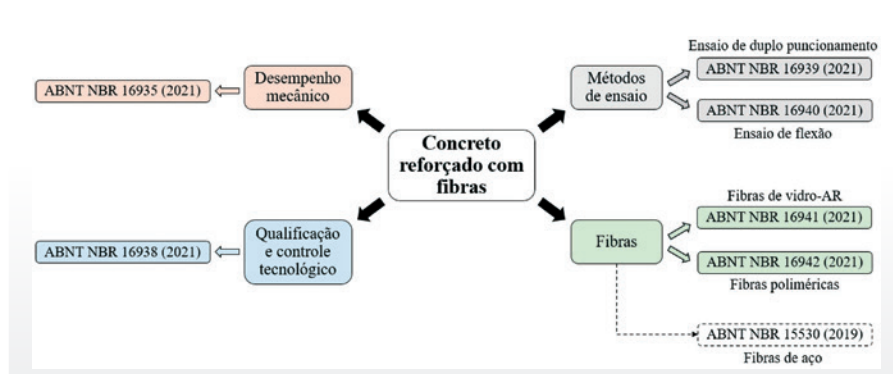


Figura 2

Normas técnicas sobre concreto reforçado com fibras

Fonte: Autor (2021)

apresentar o procedimento de cálculo no Estado-Limite Último de elementos lineares de CRF e discorrer brevemente sobre as normas recém-publicadas. Para isso, é apresentado um exemplo de verificação de uma viga de concreto reforçado com fibras frente às solicitações normais (flexão) e tangenciais (cisalhamento) e seus resultados discutidos.

2. DESEMPENHO MECÂNICO

Os requisitos de desempenho mecânico das estruturas de CRF são estabelecidos na ABNT NBR 16935 (2021), cujo campo de aplicação

abrange concretos do grupo I de resistência (C20 a C50).

A influência das fibras sobre o comportamento do concreto é presenciada, majoritariamente, na resposta pós-fissuração do material, proporcionando ductilidade e capacidade de absorção de energia. Por esse motivo, a principal via de classificação dos compósitos cimentícios reforçados com fibras é a resposta estrutural do CRF quando esse é solicitado à tração. Nesse contexto, a norma técnica brasileira, seguindo o padrão do Código Modelo *fib* 2010 (FIB, 2011), define dois comporta-

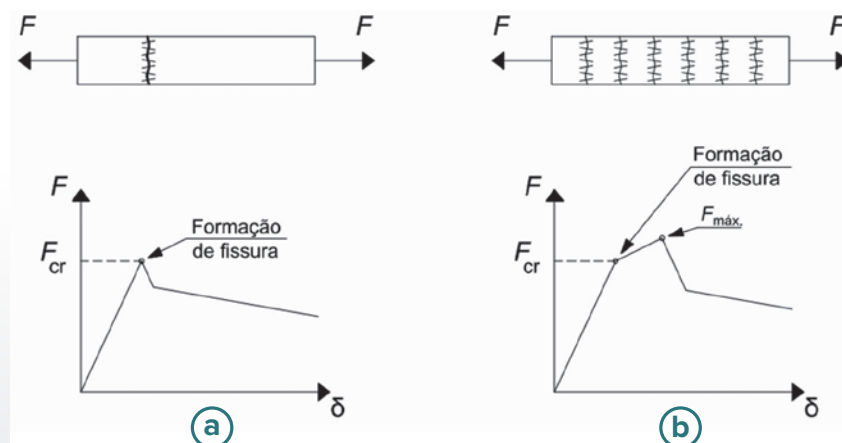


Figura 3

Comportamento do CRF: (a) amolecimento ("softening") e (b) endurecimento ("hardening")

Fonte: ABNT NBR 16935 (2021)



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4

Tipos de fibra: (a) aço c/ gancho; (b) aço corrugada; (c) vidro em filamento; (d) vidro pultrudada; (e) polimérica monofilamento; (f) polimérica torcida

Fonte: Autor (2021)

mentos para o compósito: amolecimento ("softening") e endurecimento ("hardening"), conforme ilustrado na Figura 3.

O comportamento de endurecimento ("hardening") é associado à formação de múltiplas fissuras e uma grande capacidade de absorção de energia pelo compósito, motivos que tornam esse comportamento desejável nos materiais compósitos reforçados com fibras. Esse tipo de comportamento é definido quando a força pós-fissuração ($F_{máx}$) é maior que a força associada ao início da fissuração da matriz (F_{cr}). Os concretos que apresentam esse comportamento são comumente referidos na literatura como concretos reforçados com fibras de alto desempenho. O comportamento de amolecimento ("softening"), por outro lado, apresenta um trecho descendente após a fissuração da matriz, de forma que

a força pós-fissuração é inferior a F_{cr} (Figura 3).

Diferentes tipos de fibras têm sido utilizados como material de reforço e controle de fissuração do concreto, cada um com suas características, que se diferem pelo seu processo de fabricação, composição química e física, características mecânicas, geometria, formato, entre outros parâmetros. Dentre as fibras mais comuns disponíveis no mercado atualmente, estão as de aço, de vidro e de polipropileno (Figura 4).

Em função do diâmetro da seção transversal, as fibras podem ser divididas em dois grupos: as microfibras (diâmetro menor que 0,30 mm) e as macrofibras (diâmetro maior ou igual a 0,30 mm). Devido às reduzidas dimensões, as microfibras se distribuem em grande quantidade por unidade de volume, proporcio-

nando uma "microtenacidade" ao compósito e reduzindo o tamanho das microfissuras. Embora não seja o principal objetivo das microfibras, seu uso também pode aumentar a resistência do compósito ao surgimento da primeira fissura – resistência usualmente coincidente com o limite de proporcionalidade. Além disso, auxiliam no controle de fissuras devido à retração do concreto no estado fresco. Por outro lado, as macrofibras atuam como reforço estrutural no estado endurecido do compósito, na fase pós-fissuração. Assim, diz-se que o ponto de início de atuação das macrofibras corresponde à fissuração da matriz.

3. MÉTODOS DE ENSAIO

As normas brasileiras apresentam dois métodos para caracterização do comportamento mecânico do CRF: (i) o ensaio de flexão de vigas (ABNT

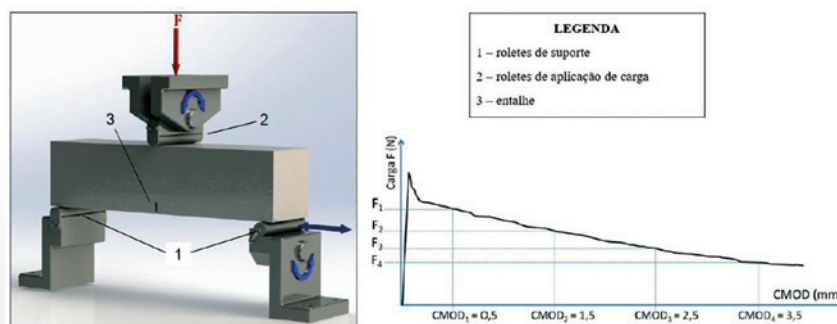
NBR 16940, 2021); e (ii) o ensaio de duplo puncionamento (ABNT NBR 16939, 2021). Apesar disso, a ABNT NBR 16935 (2021) estabelece o ensaio de flexão como o ensaio padrão para obter os parâmetros de dimensionamento de estruturas de CRF. Dessa forma, todos os requisitos aos quais a estrutura deve atender bem como os modelos constitutivos utilizados no dimensionamento estão diretamente relacionados com os resultados obtidos no ensaio de caracterização disposto na norma ABNT NBR 16940 (2021).

Na caracterização por meio do ensaio de vigas, a norma exige que a máquina de ensaio opere em circuito fechado de controle de velocidade, controlado por meio de uma taxa constante de abertura do entalhe (CMOD) ou deslocamento vertical do corpo de prova (δ). A carga é aplicada no centro do vão da viga, e os resultados do ensaio são obtidos na forma de curvas carga-CMOD (Figura 5), a partir da qual são determinados o limite de proporcionalidade (f_l) e as resistências residuais à tração na flexão ($f_{R,i}$).

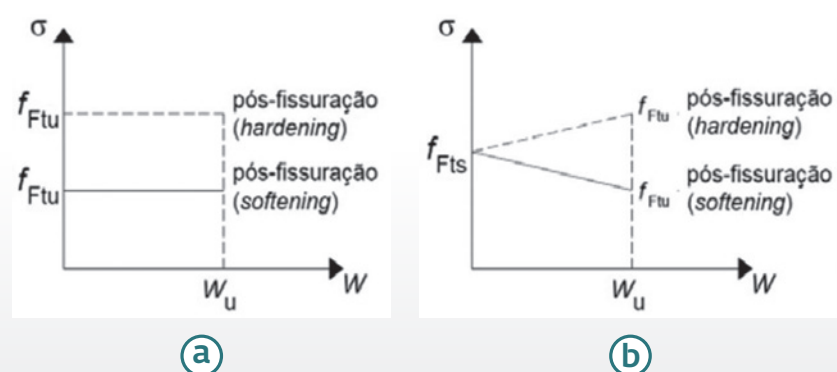
No projeto de estruturas de CRF, a especificação do material é realizada por meio dos valores característicos de suas resistências residuais obtidas no ensaio de caracterização por flexão (f_{R1k} , f_{R2k} , f_{R3k} , f_{R4k} , f_{Lk}). Dessa forma, cabe ao projetista especificar os valores considerados no projeto para serem verificados no processo de controle. A realização de ensaios prévios ao projeto é altamente recomendada.

A ABNT NBR 16935 (2021) disponibiliza dois modelos constitutivos simplificados para representar o comportamento do concreto à tração: (a) rígido-plástico e (b) linear (Figura 6).

O modelo rígido-plástico exige a identificação apenas da resistência à tração direta última (f_{Ftu}), cujo valor resulta do pressuposto de que a tensão de tração residual pós-fissuração é uniformemente distribuída ao longo da seção. O modelo linear, por outro lado, considera uma distri-



► **Figura 5**
Caracterização do CRF por meio de ensaios de tração na flexão
Fonte: ABNT NBR 16940 (2021)



► **Figura 6**
Modelos constitutivos na tração: (a) rígido-plástico e (b) linear
Fonte: ABNT NBR 16935 (2021)

buição de tensões trapezoidal, e envolve as resistências à tração direta última (f_{Ftu}) e de serviço (f_{Fts}).

Os parâmetros desses modelos são obtidos a partir dos ensaios de caracterização por flexão, e são definidos nas Equações de (1) a (3).

(a) modelo rígido-plástico

$$[1] \quad f_{Ftu} = \frac{f_{R3}}{3}$$

(b) modelo linear

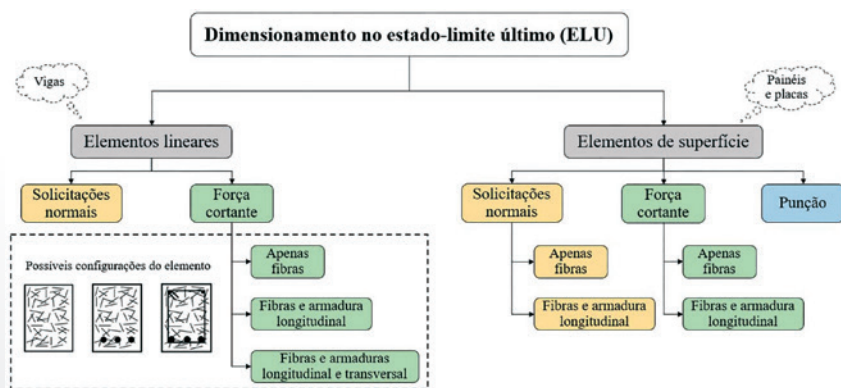
$$[2] \quad f_{Fts} = 0,45f_{R1}$$

$$[3] \quad f_{Ftu} = f_{Fts} - \frac{w_u}{CMOD_3} (f_{Fts} - 0,5f_{R3} + 0,2f_{R1}) \geq 0$$

em que w_u é a abertura de fissura última para o valor de CMOD considerada no projeto [mm].

4. VERIFICAÇÕES NO ESTADO-LIMITE ÚLTIMO

O dimensionamento de estruturas de CRF no estado-limite último (ELU) apresentado pela norma brasileira é dividido entre elementos lineares e elementos de superfície. Para cada tipo de elemento, é apresentado o procedimento de cálculo para solicitações normais e tangenciais. Ainda, para elementos de superfície, é apresentada a condição que deve ser atendida quando o elemento está sujeito à punção (Figura 7). Na sequência, são apresentadas as verificações que devem ser realizadas em elementos lineares sujeitos a solicitações normais e força cortante dispostas na norma brasileira.



► **Figura 7**
Dimensionamento no estado-limite último (ELU)
Fonte: ABNT NBR 16935 (2021)

4.1 Elementos lineares sujeitos a solicitações normais

A seção do elemento deve possuir capacidade para resistir às solicitações normais provenientes de compressão, flexão e flexocompressão. Segundo a norma brasileira, o estado-limite último é atingido quando uma das seguintes condições é alcançada (Figura 8):

- concreto atinge a deformação de compressão máxima ($\varepsilon_{cu} = 3,5\%$);
- aço atinge a deformação máxima de tração ($\varepsilon_{su} = 10\%$);
- CRF atinge a deformação última:
 - $\varepsilon_{Fu} = 10\%$ para tensões de tração constantes ao longo da seção transversal;
 - $\varepsilon_{Fu} = 20\%$ para tensões de tração variáveis ao longo da seção transversal.

4.2 Elementos lineares sujeitos à força cortante

Conforme ilustrado na Figura 7, a verificação da seção sujeita a esforços cortantes depende da configuração do elemento: (i) somente com CRF; (ii) CRF e armadura longitudinal; (iii) CRF e armaduras longitudinal e transversal.

(i) SOMENTE COM CRF

Nesse caso, a seção do elemento é considerada adequada quando a tensão principal de tração (σ_1) é inferior à resistência à tração de projeto (Equação 4).

$$[4] \quad \sigma_1 \leq \frac{f_{Ftuk}}{\gamma_c}$$

(ii) CRF E ARMADURA LONGITUDINAL

A capacidade resistente do ele-

mento estrutural é determinada segundo a Equação (5):

$$[5] \quad V_{Rd,F} = \left\{ \frac{0,18}{\gamma_c} \cdot k \cdot \left[100 \cdot \rho_1 \cdot \left(1 + 7,5 \frac{f_{Ftuk}}{f_{ctk}} \right) \cdot f_{ck} \right]^{1/3} + 0,15 \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq V_{Rd,Fmin}$$

Em que:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$\rho_1 = A_{sl}/b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,Fmin} = (v_{min} + 0,15 \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}}$$

γ_c – é o coeficiente de ponderação do CRF;

d – é a altura útil da seção transversal [mm];

A_{sl} – é a área da seção transversal da armadura que se estende além da seção considerada [mm²]

ρ_1 – é a taxa de armadura longitudinal; f_{Ftuk} – é a resistência característica à tração direta do CRF no ELU, considerando $w_u = 1,5$ mm [MPa]

f_{ctk} – é resistência característica do concreto à tração direta [MPa];

σ_{cp} – é a tensão média na seção transversal de concreto por ação de força axial devido ao carregamento ou a ações de pré-tensão;

b_w – é a menor largura da seção transversal na zona de tração [mm].

(iii) CRF E ARMADURAS LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

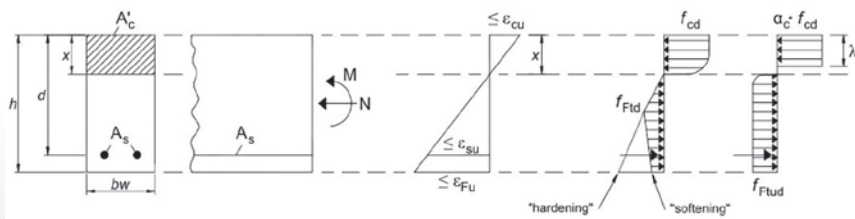
Nesse caso, a parcela referente à armadura transversal (V_{sw}) deve ser adicionada à capacidade resistente da seção (Equação 6), sendo determinada de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014).

$$[6] \quad V_{Rd} = V_{Rd,F} + V_{sw}$$

A norma brasileira define ainda que a armadura transversal mínima (estribos) pode ser dispensada em elementos de CRF quando a Equação (7) for satisfeita:

$$[7] \quad f_{Ftuk} = 0,08 \sqrt{f_{ck}}$$

Em que f_{Ftuk} é a resistência obtida pelo modelo linear, considerando $w_u = 1,50$ mm.



► **Figura 8**
ELU para solicitações normais
Fonte: ABNT NBR 16935 (2021)

5. VERIFICAÇÃO NO ELU DE UMA VIGA DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS

Para exemplificar as verificações necessárias de elementos lineares de CRF no ELU, foi considerada uma viga biapoiada, sem armadura transversal, de seção 20 cm x 40 cm e vão igual a 4,0 m, submetida a um carregamento de 20 kN/m (Figura 9). As propriedades adotadas do CRF estão indicadas na Tabela 1.

A armadura positiva da viga é constituída por duas barras de 12,5 mm de diâmetro (2 ϕ 12,5) de aço CA-50. Um cobrimento de 3,0 cm foi considerado (CAA II).

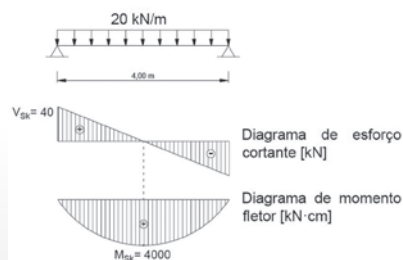
5.1 Hipóteses de cálculo

As análises no ELU do concreto reforçado com fibras consideram as seguintes hipóteses:

- seções planas permanecem planas após deformação;
- aderência perfeita entre as barras de armadura e o concreto;
- diagrama tensão vs deformação na compressão do concreto armado também é válido para o concreto reforçado com fibras.

5.2 Verificação à flexão

Para essa verificação, foi adotado o modelo rígido-plástico, que considera uma distribuição linear de tensão ao longo da seção tracionada (Figura 10). Dessa forma, conforme



► **Figura 9**

Viga biapoiada considerada como exemplo

Fonte: Autor (2021)

► **Tabela 1**
Propriedades do CRF

f_{ck}	$f_{t,k}$	$f_{R1,k}$	$f_{R2,k}$	$f_{R3,k}$	$f_{R4,k}$
30 MPa	5,0 MPa	3,5 MPa	3,0 MPa	2,0 MPa	1,0 MPa

► **Tabela 2**
Resultado da verificação da seção transversal

x [cm]	R_{cd} [kN]	R_{sd} [kN]	R_{fd} [kN]	M_{sd} [kN·cm]	M_{Rd} [kN·cm]	Verificação
6,74	138,1	106,7	31,3	5600	4321	Não ok!

a Equação (1), tem-se $f_{Ftuk} = 0,67$ MPa e $f_{Ftud} = 0,44$ MPa.

O equilíbrio de forças da seção é obtido segundo a Equação (8):

$$[8] \quad R_{cd} - R_{fd} - R_{sd} = 0$$

Em que:

$$[9] \quad R_{cd} = b_w \cdot \lambda \cdot x \cdot \frac{\alpha_c \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$[10] \quad R_{fd} = b_w \cdot (h - x) \cdot \frac{f_{Ftuk}}{\gamma_{CRF}}$$

$$[11] \quad R_{sd} = A_s \cdot \frac{\sigma_s}{\gamma_s}$$

Nas expressões acima, λ é o coeficiente que considera a equivalência do diagrama parábola-retângulo para o diagrama retangular no concreto, igual a 0,80 para $f_{ck} \leq 50$ MPa; o parâmetro α_c , igual a 0,85 para $f_{ck} \leq 50$ MPa, considera três fatores:

Efeito Rüschi; o ganho de resistência do concreto ao longo do tempo; e o formato cilíndrico do corpo de prova. Os coeficientes de minoração da resistência do concreto ($\gamma_c = 1,4$), do aço ($\gamma_s = 1,15$) e do CRF ($\gamma_{CRF} = 1,5$) foram adotados de acordo com as prescrições técnicas.

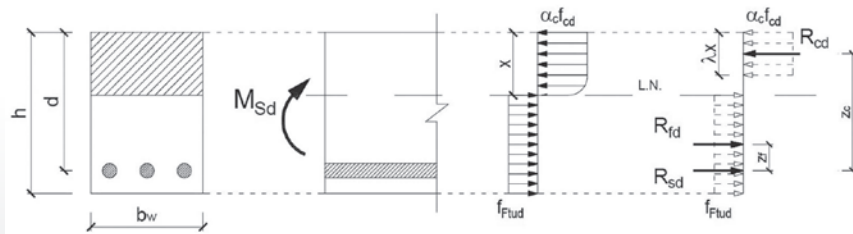
A profundidade da linha neutra (x) é obtida substituindo as Equações (9), (10) e (11) na Equação (8):

$$[12] \quad x = \frac{A_s \cdot \sigma_s d + f_{Ftud} \cdot b_w \cdot h}{\lambda \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot b_w + f_{Ftud} \cdot b_w}$$

O momento resistente da seção (M_{Rd}) é determinado por meio do equilíbrio rotacional, considerando os braços de alavanca z_c e z_f (Figura 9) em relação às barras de armadura:

$$[13] \quad M_{Rd} = R_{cd} \cdot z_c - R_{fd} \cdot z_f$$

Os resultados das expressões



► **Figura 10**

Distribuição das tensões adotada para as solicitações normais

Fonte: Autor (2021)

Tabela 3

Contribuição de cada componentes sobre o momento resistente da seção

$M_{Rd,c}$ [kN·cm]	$M_{Rd,s}$ [kN·cm]	$M_{Rd,f}$ [kN·cm]	M_{Rd} [kN·cm]
500	1747	74	4321
$M_{Rd,c}$ – parcela do momento resistente referente ao concreto comprimido			
$M_{Rd,s}$ – parcela do momento resistente referente à armadura			
$M_{Rd,f}$ – parcela do momento resistente referente ao CRF			

supracitadas para esse exemplo estão apresentados na Tabela 2. Nos cálculos foi considerado um possível modo de falha nos domínios 2 ou 3, em que o aço da armadura atinge o escoamento. Como o momento resistente da seção (M_{Rd}) é inferior ao momento solicitante de cálculo (M_{sd}), a capacidade resistente não é adequada para as solicitações normais de flexão.

Nesse caso, tem-se duas soluções: (i) aumentar a quantidade de fibras e/ou modificar o tipo de fibra; ou (ii) aumentar a quantidade de armadura. Por meio de um processo iterativo nas expressões acima, é possível verificar que, permanecendo a mesma armadura, é necessário um $f_{Ftud} = 1,56$ MPa, implicando em uma resistência residual $f_{R3,k}$ em torno de 7 MPa, um valor 250% maior que a resistência inicial. Alternativamente, pode-se aumentar a armadura positiva da viga. Embora a primeira solução pareça menos viável, deve-se ter em mente que a segunda alternativa pode ocasionar maior mão de obra e prazo de execução, cabendo ao projetista tomar a decisão para otimizar o processo de produção com o menor custo.

A contribuição das fibras no momento resistente da seção pode ser determinada considerando o centro geométrico da seção como referên-

cia para o cálculo do momento resistente (Tabela 3). Observa-se que a parcela do momento referente ao CRF é de apenas 1,72%, contra 40,44% da armadura e 57,84% do concreto comprimido.

5.3 Verificação ao cisalhamento

Devido à presença da armadura longitudinal, a viga do exemplo em questão se enquadra no caso (ii) do item 4.2. Assim, substituindo os parâmetros na Equação (5), tem-se:

$$V_{Rd,Fmin} = [(0,035 \cdot 1,74^{3/2} \cdot \sqrt{30} + 0,15 \cdot 0) \cdot 200 \cdot 366,85] = 32,3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,F} = \left\{ \frac{0,18}{1,5} \cdot 1,74 \cdot \left[100 \cdot 0,003847 \cdot \left(1 + 7,5 \frac{0,667}{2,03} \right) \cdot 30 \right]^{1/3} + 0,15 \cdot 0 \right\} \cdot 200 \cdot 366,85 = 52,3 \text{ kN}$$

Nesse caso, como $V_{Rd,F} > V_{Rd,Fmin}$, tem-se $V_{Rd,F} = 52,3$ kN.

Finalmente, comparando o esforço solicitante com o resistente, tem-se:

$$[14] \quad V_{sd} = \gamma_f \cdot V_k = 1,4 \cdot 40 = 56 \text{ kN} > 52,3 \text{ kN} = V_{Rd,F} \rightarrow \text{Não ok!}$$

Na Equação (5), isolando o termo f_{Ftuk} , é possível determinar a resistência à tração característica última necessária para o esforço solicitante de cálculo, conforme é apresentado na Equação (15):

$$[15] \quad f_{Ftuk} = \left[\frac{\left(\frac{V_{sd} \cdot \gamma_c}{b_w \cdot d \cdot 0,18 \cdot k} \right)^3}{100 \rho_1 \cdot f_{ck}} - 1 \right] \cdot \frac{f_{ctk}}{7,5}$$

Substituindo os valores na Equação (15), encontra-se $f_{Ftuk} = 0,88$ MPa, valor cerca de 30% maior que a resistência inicial, de 0,67 MPa. Nesse caso, como o elemento já não possui armadura transversal, a solução mais viável seria aumentar a quantidade de fibra e/ou modificar o tipo de fibra para aumentar as resistências residuais.

6. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado um exemplo de verificação de uma viga de concreto reforçado com fibras frente às solicitações normais e tangenciais segundo a norma ABNT NBR 16935 (2021), recém-publicada. O modelo rígido-plástico proposto pela norma técnica foi adotado nas verificações devido à sua simplicidade. Contudo, modelos mais refinados devem ser considerados na resolução de problemas mais complexos. Nas análises realizadas, observou-se que as fibras pouco contribuem para o momento resistente da seção quando comparado com a parcela referente à armadura longitudinal. Desse modo, quando os esforços de flexão são preponderantes, a substituição da armadura longitudinal por fibras pode não ser a solução mais viável, como é o caso de vigas longas. Por outro lado, a substituição da armadura transversal por fibras é uma alternativa viável que pode reduzir a mão de obra e o prazo de execução da construção. Cabe ao projetista a responsabilidade de decidir sobre o sistema construtivo que proporciona a melhor relação custo-benefício.

No contexto do dimensionamento de elementos lineares de CRF, futuros estudos envolvendo vigas de diferentes dimensões e teores de fibra, submetidas a diferentes solicitações, podem fornecer informações relevantes para melhor aferir a parcela de contribuição das fibras e refinar o método de dimensionamento de elementos de CRF.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e à Universidade Federal de São Carlos pelo apoio para a realização e divulgação deste trabalho. 

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMARAL JR., J. C.; MORAVIA, W. G. Thermal properties of polypropylene and high modulus polyethylene fibers reinforced concretes. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 13, n. 1, 2020.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C1609: Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading). Philadelphia, 2019.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16935: Projeto de estruturas de concreto reforçado com fibras — Procedimento. Rio de Janeiro, 2021. 27p.
- [4] _____. NBR 16940: Concreto reforçado com fibras - Determinação das resistências à tração na flexão (limite de proporcionalidade e resistências residuais) - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2021. 11p.
- [5] BICELLI, A. R. A. *et al.* Efeitos da corrosão acelerada na aderência de vergalhões em concretos com fibras de aço. Revista Matéria, v. 26, n. 3, 2021.
- [6] BUTTIGNOL, T. E. T. *et al.* Design of reinforced concrete beams with steel fibers in the ultimate limit state. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 11, n. 5, 2018.
- [7] CARDOSO, M. G.; LAMEIRAS, R. M.; CAPUZZO, V. M. S. Influence of concrete strength, fiber content and aspect ratio in the residual flexural strength of steel fiber reinforced self-compacting concrete. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 14, n. 5, 2021.
- [8] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 14651: Test method for metallic fiber-reinforced concrete – Measuring the flexural tensile strength (limite of proportionality (LOP), residual), CEN, London, 2007.
- [9] FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DO BETÃO (FIB). Model Code 2010: final draft. Lausanne, Switzerland, 2011. 656p.
- [10] LEITE, A. M.; CASTRO, A. L. Influência da matriz cimentícia no comportamento de concretos reforçados com fibras. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 13, n. 3, 2020.
- [11] NZAMBI, A. K. L. L. *et al.* Experimental analysis of steel fiber reinforced concrete beams in shear. IBRACON Structures and Materials Journal, v. 15, n. 3, 2022.
- [12] THE JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. JSCE-SF4: Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete. Concrete library of JSCE. Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete. 1984
- [13] VITOR, P. C. P. Resistência ao cisalhamento em vigas de concreto armado sem armadura transversal reforçadas com fibras de aço. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do **Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto**.



PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R\$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R\$ 550,00

Adquira o seu na Loja Virtual do IBRACON: <http://lojaibracon.org.br>



www.ibracon.org.br



[ibraconOffice](#)



office@ibracon.org.br



[ibraconOffice](#)