

Análise Comparativa dos Métodos de Reforço Estrutural a Flexão Utilizando Compósitos em Fibras de Carbono.

Marcos Adriani Rouças¹
Tulio Cezar Borges de Melo²

¹ Universidade Veiga de Almeida /Discente/marcos.roucas@gmail.com

² Universidade Veiga de Almeida /Mestre em Engenharia Civil e Docente / tulio.melo@uva.br

Resumo

A necessidade de reforçar estruturas ao longo das últimas décadas tem sido cada vez mais frequente na construção civil, geralmente por modificações nos requisitos de projeto ou fim da vida útil. O compósito de fibra de carbono é um sistema aplicado como reforço estrutural devido ao baixo peso próprio e fácil execução. O objetivo desta pesquisa foi realizar uma análise dos métodos de dimensionamento a flexão de compósitos em CFRP prescritos pelas Normas do American Concrete Institute ACI “Committee 440”(2017) e Fédération Internationale du béton (FIB) “Bulletin 14” (2001) e seu complemento FIB Model Code (2010). As prescrições normativas foram aplicadas numa viga biapoiada de concreto armado que sofreu acréscimo de carga acidental em 50%. Foram abordados os aspectos quantitativos referentes a esta análise e verificado que os resultados obtidos, se enquadram nos critérios de conformidade no estado limite último (ELU). Posteriormente, estabeleceu-se uma análise comparativa dos resultados e dos parâmetros prescritos pelos referidos manuais. A ruptura do elemento estrutural foi direcionada ao colapso do reforço e com isso a deformação no concreto, no instante da ruptura, foi menor que a prevista. Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que uma espessura mínima do reforço, em compósito de CFRP, foi capaz de suportar o carregamento adicional do elemento estrutural.

Palavras-chave

Reforço estrutural; Fibra de carbono; Patologias das estruturas.

1. Introdução

Com o decorrer das gerações e o desenvolvimento da ciência na construção civil, a humanidade tornou-se capaz de dar solução a problemas complexos como a necessidade de edificações que suportassem elevadas solicitações, limitação de espaço ou tecnologia para aperfeiçoamento dos projetos de Engenharia (SOUZA e RIPPER, 1998).

Esse processo de desenvolvimento levou à busca por novos materiais e técnicas construtivas que suprissem esse objetivo, entretanto, a falta de controle de qualidade associada à falta de manutenção ao longo da vida útil se tornou recorrente nas obras. Além disso, a alteração da finalidade dos empreendimentos, resultante da necessidade dos proprietários ou até mesmo a ampliação do projeto, provocaram elevação nas cargas solicitantes das estruturas, que devido a essa modificação, passaram a não resistir a esta variação.

Assim sendo, manifestações patológicas começaram a surgir, afetando com isso, a durabilidade e o desempenho estrutural, sendo importante o conhecimento para diagnosticar a necessidade de recuperar os elementos estruturais bem com o aval do corpo técnico para realizar o procedimento. Tal conhecimento é abrangido nas áreas de Patologia de Estruturas que é o segmento da engenharia estuda a origem, manifestação, degradação e mecanismos de ocorrência de falhas (SOUZA e RIPPER, 1998).

No mercado Europeu e Norte americano da construção civil, existe regulamentação apropriada para a

execução e dimensionamento dessa técnica, que garantam os requisitos fundamentais de segurança e qualidade de projeto. Contudo, nacionalmente não se tem uma NBR específica para tal técnica.

Este trabalho, portanto, visa trazer conhecimento a respeito do dimensionamento a flexão utilizando compósitos de fibras de carbono CFRP estabelecendo um comparativo entre as prescrições normativas ACI 440.2R (2010) e Fib Bulletin 14 (2001) e seu complemento Fib Model Code (2010).

2. Normas ACI 440.2R (2017), Fib Bulletin 14 (2001) e Model Code 2010.

Nas seções a seguir foi apresentado o processo de dimensionamento estrutural a flexão dos reforços em CFRP para estruturas de concreto, segundo as normas ACI 440.2R(2017) e Fib Bulletin 14(2001) para cada etapa de cálculo.

2.1 Equação geral para o sistema de reforço FRP

A equação que rege o dimensionamento do reforço se dá pelo momento resistente (ϕM_n) sendo superior ao momento solicitante (M_u). Para os efeitos de cálculo são considerados todos os fatores de redução das resistências e majoração das cargas, fatores comumente encontrados nas diversas metodologias de dimensionamento.

$$\phi M_n \geq M_u \quad (\text{Eq.1})$$

2.2 Ductilidade do sistema de reforço CFRP (ϕ)

Conforme ACI 440.2R (2017), fez-se necessário reduzir a resistência. A norma considera a perda de resistência na implementação do sistema de reforço CFRP. Logo, Tem-se:

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{para } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 & \text{para } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{sy} \\ 0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy}) & \text{para } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{sy})}{0.005 - \varepsilon_{sy}} & \text{para } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_t < 0.005 \end{cases} \quad (\text{Eq.2})$$

Segundo o Fib Bulletin 14, verifica-se apenas se a ductilidade se encontra dentro dos limites estabelecidos em norma, sendo necessária a alteração da linha neutra “c” caso preciso. Logo:

$$\xi \leq 0.45 \text{ para concreto C50/C60 ou inferiores} \quad (\text{Eq.3})$$

$$\xi \leq 0.35 \text{ para concreto superiores que C57/C67}$$

$$\xi = \frac{x}{d} \quad (\text{Eq.4})$$

2.3 Propriedades do Sistema FRP

A ACI 440.2R (2017) minora a tensão e a deformação limite do CFRP dadas pelo fabricante. Devido à perda de resistência por fatores ambientais tem-se o fator de minoração C_E , conforme a condição de exposição:

$$f_{fu} = C_{EXf} * f_u \quad (\text{Eq.5})$$

$$\varepsilon_{fu} = C_{EX\varepsilon} * \varepsilon_u \quad (\text{Eq.6})$$



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 1 - Fator devido a condição ambiental. Fonte: ACI 440.2R, 2017.

Condição de Exposição	Tipo de Fibra	C_E
Ambiente Interno	Carbono	0.95
	Vidro	0.75
	Aramida	0.85
Ambiente Externo (Pontes, cais e garagens não fechados)	Carbono	0.85
	Vidro	0.65
	Aramida	0.75
Ambiente Agressivo (Indústrias químicas, Estações de tratamento d'água e esgoto, etc.)	Carbono	0.85
	Vidro	0.50
	Aramida	0.70

Conforme o Fib Bulletin 14(2001) aplica-se à tensão limite do CFRP um coeficiente de minoração conforme o controle de qualidade na aplicação do sistema de reforço, Tipo A – Rigoroso e Tipo B – Normal. Tem-se o fator de minoração γ_f :

$$f_{fu} = \varepsilon_f E_f \leq f_{fd} \quad (\text{Eq.7})$$

$$f_{fd} = \frac{f_{fk}}{\gamma_f} \quad (\text{Eq.8})$$

Tabela 2 – Fator de Segurança devido ao controle de qualidade. Fonte: Fib bulletin 14, 2001

Tipo de reforço (FRP)	Aplicação tipo A	Aplicação tipo B
CFRP	1,20	1,35
AFRP	1,25	1,45
VFRP	1,30	1,50

3.4 Propriedades do concreto

A ACI 440.2R define as propriedades do concreto pela simplificação do diagrama de tensões parábola-retângulo (β_1 e α_1) e o módulo de elasticidade a secante E_c . Tem-se as expressões:

$$\beta_1 = 1.05 - 0.05\left(\frac{f'_c}{1000}\right) \quad (\text{Eq.9})$$

$$\alpha_1 = 0.85 \text{ para } 17 \leq f_{ck} \leq 27 \text{ MPa} \quad (\text{Eq.10})$$

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \quad (\text{Eq.11})$$

O Fib Bullentin 14 (2001) determina outra nomenclatura para a simplificação do diagrama (η e λ) bem como define-se o módulo de elasticidade a tangente E_{ci} . Tem-se as expressões:

$$\lambda \begin{cases} 0,8 \text{ para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ 0,8 - \frac{f_{ck} - 50}{400} \text{ para } 50 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 100 \text{ MPa} \end{cases} \quad (\text{Eq.12})$$



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

$$\eta = \begin{cases} 1,0 & \text{para } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ 1,0 - \frac{f_{ck} - 50}{200} & \text{para } 50 \text{ MPa} \end{cases} \quad (\text{Eq.13})$$

$$E_{ci} = 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{Eq.14})$$

3.5 Deformação inicial existente na viga

Conforme a norma americana ACI 440.2R (2017) o estado de tensões existentes na viga é calculado assumindo a situação do elemento estrutural estar fissurado, no domínio 2. Determina-se o momento de inércia I_{cr} e posteriormente a deformação inicial ε_{bi} .

$$k_d = \frac{\sqrt{2dB + 1} + 1}{B} \quad (\text{Eq.15})$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (\text{Eq.16})$$

$$B = \frac{b}{n \cdot A_s} \quad (\text{Eq.17})$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot kd^3}{3} - nA_s(d - kd)^2 \quad (\text{Eq.18})$$

$$\varepsilon_{bi} = \frac{M_{AP}(h - kd)}{I_{cr}E_c} \quad (\text{Eq.19})$$

Analogamente, o Fib Bulletin 14 (2001) determina o estado de tensões como a ACI 440.2R. Entretanto, determina-se a profundidade da linha neutra " X_0 " no domínio II. Tem-se:

$$\varepsilon_{c0} = \frac{M_0 X_0}{E_c I_{c0}} \quad (\text{Eq.20})$$

$$\frac{1}{2} B X_0^2 + A_{s2}(X_0 - d_2) = \alpha_s A_{s1}(d - X_0) \quad (\text{Eq.21})$$

3.6 Deformação máxima de projeto para o sistema CFRP

Define-se a deformação máxima de projeto (ε_{fd}) para garantir que não ocorra a desconexão do sistema de reforço CFRP devido a extrapolação do limite do material. A norma ACI 440.2R, determina:

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'c}{n \cdot E_f \cdot t_f}} \leq 0,9 \varepsilon_{fu} \quad (\text{Eq.22})$$

O Fib Bulletin 14 (2001) limita a deformação do material fornecido pelo fabricante, minorado por um coeficiente de segurança:

$$\varepsilon_{fd} = 0,8 \varepsilon_{fu} \quad (\text{Eq.23})$$

3.7 Estimativa da linha Neutra “c”

O método da ACI 440.2R (2017) considera a igualdade da linha neutra estimada neste item com a linha neutra de cálculo do item 3.6.11, através de tentativas sucessivas. Estipula-se uma linha neutra “c” para prosseguimento do cálculo e verificação do equilíbrio da seção. Deve-se ter a linha neutra estimada igual à de cálculo. Conforme a norma americana, empiricamente estima-se inicialmente que:

$$c = 0.20d \quad (\text{Eq.24})$$

3.8 Estado de deformações e tensão do CFRP no ELU.

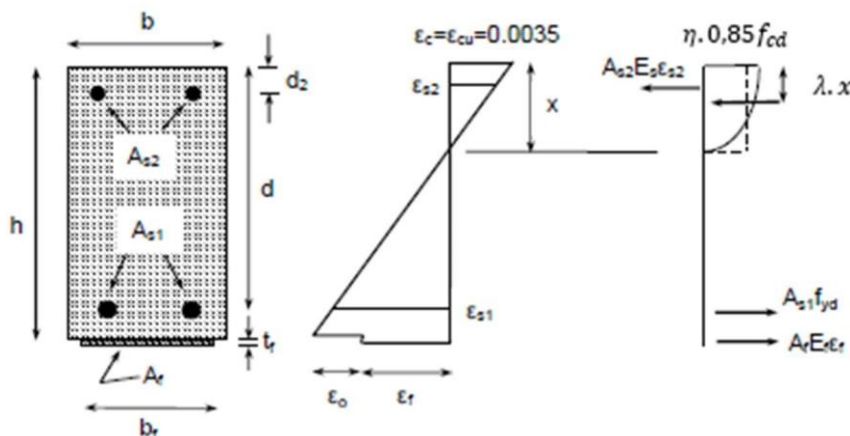
Como os materiais CFRP apresentam comportamento linear elástico até o colapso, a deformação no CFRP ditará o estresse desenvolvido no sistema de reforço. Portanto, a tensão máxima que pode ser alcançada será governada pela deformação efetiva desenvolvida no FRP no ponto em que o concreto rompe por esmagamento menos a deformação inicial e limitada pela deformação limite de projeto. Conforme ACI 440.2R (2017), tem-se:

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{df - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd} \quad (\text{Eq.25})$$

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe} \quad (\text{Eq.26})$$

Conforme o FIB Bulletin 14(2001) e FIB Model Code (2010), determina-se o estado de tensões e deformações efetivas, e faz-se necessário calcular a linha neutra inicialmente. Abaixo segue a figura 1, que representa o esquema resistente no ELU:

Figura 1 – Representação do esquema resistente no ELU. Fonte: Fib model Code (2010)



$$x = \frac{A_{s1}f_{yd} + A_f E_{fu} \varepsilon_f - A_{s2} E_s \varepsilon_{s2}}{0,85 \lambda f_{cd} b} \quad (\text{Eq.27})$$

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{h - x}{x} \right) - \varepsilon_0 < \varepsilon_{fd} \quad (\text{Eq.28})$$

$$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe} \quad (\text{Eq.29})$$



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

3.9 Estado de deformações e tensão no aço tracionado no ELU.

Conforme a ACI 440.2R (2017)

$$\varepsilon_s = (\varepsilon_{fe} + \varepsilon_{bi}) \cdot \frac{(d - c)}{(d_f - c)} \quad (\text{Eq.30})$$

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y \quad (\text{Eq.31})$$

Analogamente, tem-se com o Fib Bulletin 14 (2001):

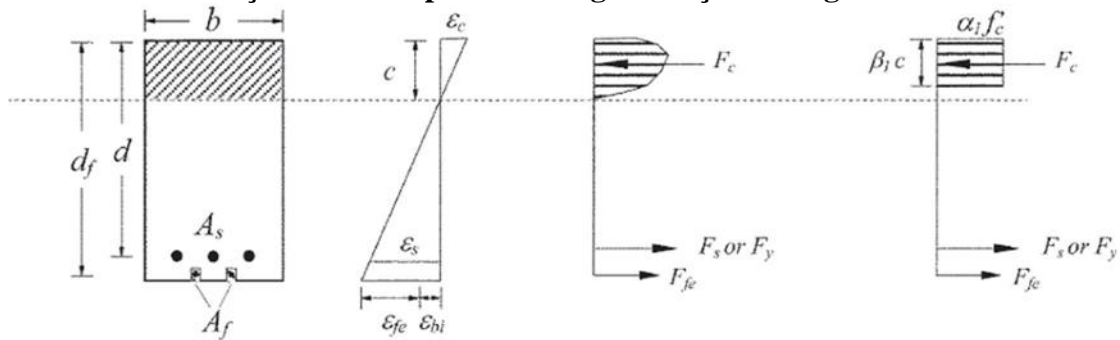
$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu}(d - x)}{x} \geq \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (\text{Eq.32})$$

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (\text{Eq.33})$$

3.10 Linha Neutra de cálculo no ELU.

Para a linha neutra de cálculo, conforme a ACI 440.2R tem-se os parâmetros (β_1 e α_1) referentes à não linearidade das tensões na zona comprimida representado na parte hachurada do esquema resistente na figura 2, além do parâmetro ε^u e em seguida calcula-se a linha neutra “c”.

Figura 2 - Simplificação do diagrama parábola retângulo: Distribuição de tensões e deformações no ELU para uma viga de seção retangular.



$$\beta_1 = \frac{4\varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6\varepsilon'_c - 2\varepsilon_c} \quad (\text{Eq.34})$$

$$\alpha_1 = \frac{3\varepsilon'_c \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3\beta_1 \varepsilon_c'^2} \quad (\text{Eq.35})$$

$$\varepsilon'_c = \frac{1.7f'_c}{E_c} \quad (\text{Eq.36})$$

$$c = \frac{(A_s f_s + A_f f_{fe})}{\alpha_1 f'_c \beta_1 b} \quad (\text{Eq.37})$$

3.11 Cálculo do momento resistente

Por fim, com as forças atuantes na seção pode se calcular o momento resistente M_n por meio da soma da parcela referente a contribuição da resistência do aço e a parcela referente à contribuição do reforço em CFRP. Determina-se o momento resistente, com redução da resistência devido à perda por ductilidade (ϕ) conforme ACI 440.2R(2017) preconiza, pela expressão:

$$\phi M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A_f f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (\text{Eq.38})$$

Conforme o Fib Bulletin 14(2001), analogamente, tem-se o momento resistente com somatório das parcelas de contribuição do aço e da fibra, entretanto sem redução da perda por ductilidade, através da expressão:

$$M_n = A_s f_{yd} (d - \lambda \cdot x) + A_f E_f \varepsilon_f (h - \lambda \cdot x) \quad (\text{Eq.39})$$

3.12 Verificação das tensões no ELS.

Conforme a prescrição da ACI 440.2R a verificação da tensão máxima do aço ($f_{s,s}$) e CFRP (f_{fs}) no ELS se dá por:

$$f_{s,s} = \frac{\left[M_s + \varepsilon_{bi} A_f E_f \left(h - \frac{kd}{3} \right) \right] (d - kd) E_s}{A_s E_s \left(d - \frac{kd}{3} \right) (d - kd) + A_f E_f \left(h - \frac{kd}{3} \right) (h - kd)} \leq 0.8 f_{fk} \quad (\text{Eq.40})$$

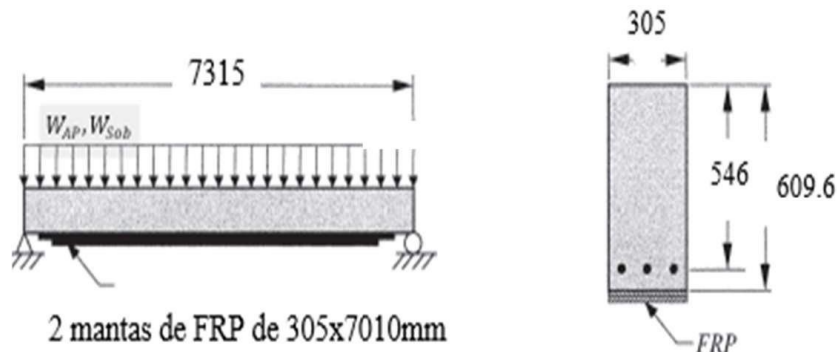
$$f_{fs} = f_{s,s} \left(\frac{E_f}{E_s} \right) \frac{d_f - kd}{d - kd} \leq 0.55 f_{fu} \quad (\text{Eq.41})$$

Segundo a prescrição do Fib Bulletin 14(2001) o parâmetro $\eta = 1$. A verificação da tensão máxima no ELS do aço e CFRP é dada por:

$$f_{s,s} = E_s \varepsilon_c \left(\frac{d - x}{x} \right) \leq 0.80 f_{yk} \quad (\text{Eq.42})$$

$$f_{fbd} = E_f \left(\varepsilon_c \frac{h - x}{x} - \varepsilon_0 \right) \leq \eta \cdot f_{fk} \quad (\text{Eq.43})$$

Figura 3 –Viga Biapoiada Reforçada com 2 Mantas de Fibra de Carbono.





XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 3 - Dimensões da viga. Fonte: Adaptada ACI 440.2R, 2017.

Comp. (L)	Base (B)	Altura (h)	Compressão ($f'c$)	Tração (f_y)	Diâmetro das barras (ϕ)
732mm	305mm	609.6mm	34.5 N/mm ²	414 N/mm ²	28.6 mm

Tabela 4 – Dimensões do CFRP. Fonte: Adaptada ACI 440.2R, 2017.

Espessura da camada (t_f)	Área da Fibra (A_f)	Resistencia última a tração (f_{fu} *)	Deformação máxima (ϵ_{fu} *)	Módulo de elasticidade do FRP (E_f)
1.02 mm	619 mm ²	621 N/mm ²	0.0015 mm/mm	37000 N/mm ²

Determina-se a combinação mais desfavorável pelo momento máximo no meio do vão oriunda da combinação de cargas permanentes e variáveis. Logo, tem-se:

$$M_u = \frac{ql^2}{8} \quad (\text{Eq.46})$$

Tabela 5 - Combinação de solicitações: Carregamentos e momentos. Fonte: ACI 440.2R

Carregamentos: W_{AP}, W_{sob}	Carregamentos Existentes	Novos Carregamentos
Permanentes, W_{eP}	14.6 N/mm	14.6 N/mm
Variáveis, W_{cob}	17.5 N/mm	26.3 N/mm
Não majorados, $W_{eP} + W_{cob}$	32.1 N/mm	40.9 N/mm
Limite de Resistencia ($1.1W_{ap} + 0.75W_{cob}$)		35.7 N/mm
Combinação mais desfavorável ($1.2 W_{ap} + 1.6W_{cob}$)	44.9 N/mm	59.5 N/mm
Momentos: $M_{ap}, M_{sob}, M_s, M_u$.	Momentos Existentes	Momentos Novos
Permanentes, M_{ap}	97.7 kN/mm	97.7 kN/mm
Acidentais, M_{cob}	117.1 kN/mm	175.6 kN/mm
Limite de Resistencia, M_s		239.1 kN/mm
Combinação mais desfavorável, M_u	300.6 kN/mm	398.1 kN/mm



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 6 – Comparativo normativo: ACI 440.2R (2017), FIB Bulletin 14 (2001) e Model Code (2010)
Fonte: Adaptado Roncetti (2011)

Parâmetro	ACI 440.2R (2017)	FIB Bulletin 14 (2001)
Módulo de elasticidade do concreto a compressão	Calculado pelo módulo a secante do gráfico tensão x deformação: $E_{cs} = 0.84E_{ci}$	Módulo de elasticidade do concreto em 28 dias. Calculado pelo módulo a tangente do gráfico tensão x deformação: $E_{ci} = 5600\sqrt{f_{ck}}$
Deformação específica máxima do concreto a compressão:	0.003	0.0035
Deformação máxima de dimensionamento a tração no FRP	$\varepsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{n E_f t_f}} \leq 0.9\varepsilon_{fu}$	$\varepsilon_{fd} = \frac{\varepsilon_{fu}}{\gamma_f}$
Fator ambiental de redução da resistência a flexão no FRP	0.95	Não existe.
Linha Neutra “x”	Calculado por método iterativo. Linha neutra estimada deve ser igual a de cálculo no ELU.	Determina-se a linha neutra no Estádio II e posteriormente a de cálculo no ELU.
Tensão máxima do aço no ELS	$0.80f_y$	$0.80f_y$
Tensão máxima na fibra em serviço	$0.55f_{fu}$	$0.80f_y$
Fator de minoração da resistência do concreto	Em função da ductibilidade.	1.5
Fator de minoração da resistência do aço	Em função da ductibilidade.	1,15
Fator de minoração da resistência do CFRP	Em função da ductibilidade.	1,20 ou 1,35
Fator de redução devido a perda de Ductibilidade na seção	Conforme o alongamento da armadura tracionada.	Apenas verificar: $x/d \leq 0.45$ p/ $f_{ck} = 35$ $x/d \leq 0.35$ p/ $f_{ck} > 35$

Tabela 7 – Conclusão: Comparativo de resultados entre ACI 440.2R(2017) e Fib Bulletin 14(2001) no dimensionamento a flexão da viga Biapoiada reforçada com CFRP.

Parâmetros	ACI 440.2R	FIB Bulletin 14
Resistencia a tração de projeto	590 N/mm^2	496 N/mm^2
Deformação máxima de projeto	0.0142 mm/mm	0.015 mm/mm
Módulo de elasticidade do concreto	$27,606 \text{ Gpa}$	$31,4 \text{ Gpa}$
Área de aço:	1935 mm^2	1935 mm^2



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

Tabela 7 (continuação) – Conclusão: Comparativo de resultados entre ACI 440.2R(2017) e Fib Bulletin 14(2001) no dimensionamento a flexão da viga Biapoiada reforçada com CFRP.

Deformação inicial na viga no Estádio II:	0.00061	0.00095
Deformação máxima de projeto do CFRP:	0.009	0.009
Linha Neutra “x” no ELU	131,72 mm	141,31 mm
Deformação efetiva no CFRP:	0.009	0.009
Deformação no concreto:	0.0026	0.003
Deformação no aço:	0.0083	0.010
Tensão no Aço:	414 N/mm ²	414 N/mm ²
Tensão no CFRP:	333 N/mm ²	333 N/mm ²
Momento Solicitante:	399 KN. m	399 KN. m
Momento Resistente	443,9 KN. m	452,02 KN. m
Tensão máxima do aço no ELS para cargas permanentes:	279 N/mm ² ≤ 330 N/mm ²	400 N/mm ²
Tensão máxima do CFRP no ELS para cargas permanentes:	3,77 N/mm ² ≤ 324 N/mm ²	496 N/mm ²

Referências

- ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures, 2017.
- ACI – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Building code requirements for structural concrete. ACI committee 318, 2019.
- ARAUJO, R.Y. A., Reforço a flexão de vigas de concreto armado com fibras de carbono utilizando o ACI440.2R e a NBR 6118 adaptada, 2018.
- BEBER, A. J., Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono, 2003.
- FÉDÉRATION INTERNACIONALE DU BÉTON. Bulletin 14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Lausanne, 2001.
- FÉDÉRATION INTERNACIONALE DU BÉTON. fib Model Code for Concrete Structures. Lausanne, 2010
- MACHADO, A.P. 2011. Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono.
- ORLANDO, I.G. 2019. Projeto de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos FRP: Dimensionamento a flexão e a Força cortante
- PIVATTO, A. B. 2001. Reforço estrutural a flexão para viga biapoiada de concreto armado por chapas metálicas e compósito reforçado com fibras de carbono.
- RONCETTI, L. 2011. Estudo comparativo entre métodos de dimensionamento de reforço de vigas de concreto armado a flexão com polímero reforçado com fibra de carbono.
- SOUZA e RIPPER.,1998. Patologia recuperação e reforço de estruturas de concreto.