

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADAS COM FRP SEGUNDO A NORMA ABNT NBR 17196 (2025)

Bruno Íthalo Freitas Rocha Passos¹, Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro²,
Luiz Antonio Vieira Carneiro²

¹Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil (brunoi@id.uff.br)

²Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil

Resumo: Este trabalho apresenta a teoria do dimensionamento à flexão e à força cortante de vigas de concreto armadas com barras longitudinais e estribos de FRP (polímero reforçado com fibras), com base na norma ABNT NBR 17196 (2025). Os resultados teóricos deste dimensionamento foram comparados aos experimentais do trabalho de Duranovic *et al.* (1997). Verificou-se que os valores de carga de ruptura à flexão e à força cortante foram compatíveis com os obtidos por Duranovic *et al.* (1997).

Palavras-chave: Dimensionamento; flexão; força cortante; vigas de concreto; FRP

INTRODUÇÃO

Vigas em concreto são elementos estruturais lineares cujo comprimento longitudinal supera, pelo menos, três vezes a maior dimensão da seção transversal e estão sujeitas principalmente a ações de flexão. Estas têm a principal função de receber os carregamentos das lajes e transmiti-los aos pilares.

Os polímeros reforçados com fibras (FRP) têm sido aplicados em construções de concreto na forma de barras longitudinais e estribos, devido à sua alta resistência à tração, elevada absorção de impactos, baixo peso e não suscetibilidade à corrosão e ao magnetismo.

Esses materiais de FRP podem ser fabricados pelo processo da pultrusão, que consiste em puxar as fibras impregnadas com resina por meio de um molde pré-aquecido e conferir a geometria desejada após a polimerização (endurecimento ou cura) do conjunto fibras-resina.

A Figura 1 ilustra alguns tipos de barras de FRP, tais como barras de GFRP (vidro), CFRP (carbono), AFRP (aramida) e BFRP (basalto), cujas curvas tensão-deformação são apresentadas na Figura 2. Nota-se a linearidade das curvas para os materiais de FRP e, em alguns casos, a superioridade em resistência e rigidez em relação ao aço.

O dimensionamento de vigas de concreto armadas com FRP necessita de uma teoria que engloba tópicos relacionados a análises linear sem redistribuição, não-linear, por meio de modelos físicos, aproximações para análises locais e considerando acréscimo de ductilidade, instabilidade lateral, dimensionamento de seções em concreto, técnicas de detalhamento de armadura, entre outros.



Figura 1. Tipos de barras de FRP (Abbood *et al.*, 2021).

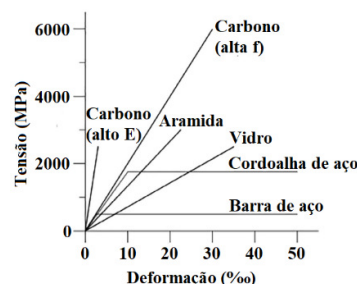


Figura 2. Curvas de tensão-deformação dos materiais (Abbood *et al.*, 2021).

Este trabalho apresenta a teoria para o dimensionamento à flexão e à força cortante de vigas em concreto armadas com barras longitudinais e estribos de FRP, de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 17196 (2025). Além disto, realizou-se uma análise comparativa entre os resultados teóricos e os experimentais obtidos por Duranovic *et al.* (1997).

MATERIAL E MÉTODOS

Segundo a norma ABNT NBR 17196 (2025), para a análise da resistência da seção transversal de uma viga de concreto armada com barras longitudinais de FRP, podem ser adotadas as seguintes hipóteses, também recomendadas pela norma ABNT NBR 6118 (2023):

- a) as seções transversais permanecem planas;
- b) a compatibilidade de deformações entre a armadura e o concreto é admitida;
- c) as tensões nas armaduras e no concreto podem ser obtidas a partir dos diagramas tensão-deformação idealizados dos materiais;
- d) a resistência do concreto à tração deve ser desprezada;
- e) a contribuição à compressão das barras longitudinais de FRP deve ser desconsiderada;
- f) o estado limite último é atingido quando a deformação na armadura ou no concreto alcança seus valores limites; e
- g) a distribuição de tensões no concreto na região comprimida pode ser considerada como um bloco retangular de tensões.

No item 17.1.2.4 da norma ABNT NBR 17196 (2025), define-se a taxa de armadura balanceada ρ_{fb} para vigas de seção retangular sujeitas à flexão simples, conforme Equação 1.

$$\rho_{fb} = \lambda \times \alpha_c \times \eta_c \times \frac{f_{cd}}{f_{fd}} \times \frac{E_f \times \varepsilon_{cu}}{E_f \times \varepsilon_{cu} + f_{fd}} \quad (1)$$

onde:

λ é a relação entre a altura do bloco retangular de tensões de compressão no concreto e a altura da linha neutra na ruptura, igual a 0,80, para concretos com resistência característica à compressão f_{ck} até 50 MPa, ou $0,80 - (f_{ck} - 50)/400$, para concretos com f_{ck} entre 50 MPa e 90 MPa;

α_c é o parâmetro de redução da resistência do concreto na compressão, igual a 0,85, para concretos com f_{ck} até 50 MPa, ou $0,85 \times [1,0 - (f_{ck} - 50)/200]$, para concretos com f_{ck} entre 50 MPa e 90 MPa;

η_c é o fator de fragilidade do concreto, igual a 1,00, para concretos com f_{ck} até 40 MPa, ou $(40/f_{ck})^{(1/3)}$, para concretos com f_{ck} entre 40 MPa e 90 MPa;

f_{cd} é a resistência de cálculo do concreto à compressão;

f_{fd} é a resistência de cálculo da armadura de FRP à tração, dada pela Equação 2;

E_f é o módulo de elasticidade da armadura de FRP, cujo valor pode ser adotado como 45 GPa, no

caso de ausência de ensaio ou de valor fornecido pelo fabricante;

ε_{cu} é a deformação última do concreto à compressão, igual a 3,5‰, para concretos com f_{ck} até 50 MPa, ou $2,6‰ + 35‰ \times [(90 - f_{ck})/100]^4$, para concretos com f_{ck} entre 50 MPa e 90 MPa;

$$f_{fd} = 0,85 \times \frac{f_{fk}}{\gamma_{FRP}} \quad (2)$$

onde:

f_{fk} é a resistência característica da armadura de FRP à tração, cujo valor pode ser adotado como 800 MPa, no caso de ausência de ensaio ou de valor fornecido pelo fabricante;

γ_{FRP} é o coeficiente de ponderação de resistência da armadura de FRP, cujo valor é igual a 1,30 para combinação de ações no estado limite último (ELU) normal; 1,20 para combinação de ações no ELU especial ou de construção, ou no ELU excepcional; 3,00 para combinação de ações no ELU de fadiga ou no ELU de fluência; e 1,00 para combinação de ações no estado limite de serviço (ELS).

A taxa de armadura balanceada ρ_{fb} determina, simultaneamente, o esmagamento do concreto e a ruptura das barras de FRP, na ruptura de vigas de seção retangular sujeitas à flexão simples.

Caso a taxa de armadura longitudinal ρ_f , que é a relação entre a área total da armadura longitudinal de FRP A_f e o produto entre a largura b e a altura útil d de uma viga de seção retangular sujeita à flexão simples seja maior que a taxa de armadura balanceada ρ_{fb} , a ruptura desta viga ocorre por esmagamento do concreto, caso contrário, por ruptura da armadura de FRP.

No item 17.1.2.6 da norma ABNT NBR 17196 (2025), apresenta-se o momento fletor resistente M_{Rd} para vigas de seção retangular sujeitas à flexão simples, dado pela Equação 3.

$$M_{Rd} = \sigma_{fd} \times A_f \times \left(d - \frac{\lambda \times x_u}{2} \right) \quad (3)$$

onde:

σ_{fd} é a tensão de cálculo da armadura de FRP à tração, dada pelas Equações 4 e 5;

x_u é altura da linha neutra na ruptura da viga.

$$\sigma_{fd} = f_{fd} \quad , \text{se } \rho_f \leq \rho_{fb} \quad (4)$$

$$\sigma_{fd} = \frac{\alpha_c \times \eta_c \times f_{cd} \times \lambda \times x_u \times b}{A_f} \quad , \text{se } \rho_f > \rho_{fb} \quad (5)$$

No item 17.1.2.5 da norma ABNT NBR 17196 (2025), encontra-se a altura da linha neutra na ruptura da viga x_u , dada pelas Equações 6 e 7.

$$x_u = \frac{f_{fd} \times A_f}{\alpha_c \times \eta_c \times f_{cd} \times \lambda \times b}, \text{ se } \rho_f \leq \rho_{fb} \quad (6)$$

$$x_u = \frac{\epsilon_{cu} \times A_f \times E_f}{2 \times \alpha_c \times \eta_c \times f_{cd} \times \lambda \times b} \times \left(-1 + \sqrt{1 + 4 \times \frac{\alpha_c \times \eta_c \times f_{cd} \times \lambda \times b \times d}{\epsilon_{cu} \times A_f \times E_f}} \right), \text{ se } \rho_f > \rho_{fb} \quad (7)$$

A Figura 3 mostra a distribuição de deformações e forças ao longo da altura da seção transversal retangular de uma viga de concreto armada com barras de FRP no estado limite último.

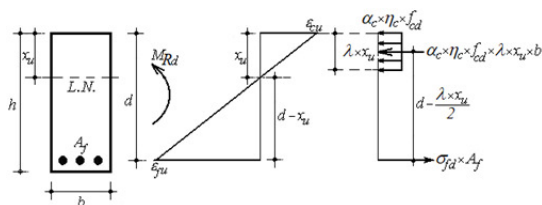


Figura 3. Distribuição de deformações e forças em uma viga no ELU.

No item 17.2.1 da norma ABNT NBR 17196 (2025), mostra-se o momento fletor de fissuração M_f de vigas de concreto armadas com barras de FRP, dado pela Equação 8.

$$M_r = \frac{f_{ctk,inf} \times I_c}{y_t} \quad (8)$$

onde:

$f_{ctk,inf}$ é a resistência característica inferior do concreto à tração, expressa pelas Equações 9, para concretos com f_{ck} até 50 MPa, e 10, para concretos com f_{ck} entre 50 MPa e 90 MPa, sendo f_{ck} em MPa;

I_c é o momento de inércia da seção bruta (não fissurada) de concreto;

y_i é a distância entre a altura da linha neutra e a fibra mais tracionada da seção bruta (não fissurada) de concreto.

$$f_{ctk.inf} = 0,21 \times f_{ck}^{2/3} \quad (9)$$

$$f_{ctk.inf} = 1,484 \times \ln[1 + 0,1 \times (f_{ck} + 8)] \quad (10)$$

A resistência à força cortante em uma determinada seção transversal de vigas de concreto armadas com FRP é considerada adequada quando as Equações 11 e 12 são simultaneamente atendidas.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd?} \quad (11)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3} = V_c + V_f \quad (12)$$

onde:

V_{sd} é a força cortante solicitante de cálculo;

V_{Rd2} é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto, dada pela Equação 13;

V_{Rd3} é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal;

V_c é a parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares aos da treliça, expressa pela Equações 14 a 19;

V_f é a parcela de força cortante absorvida pela armadura transversal em FRP, obtida pela Equação 20.

As Equações 13, 14 e 20 admitem uso de modelo baseado na analogia de treliça, com banzos paralelos, bielas de compressão inclinadas de θ igual a 45° em relação ao eixo longitudinal da viga e armadura transversal orientada perpendicularmente a este eixo da viga, considerando a contribuição dos mecanismos resistentes complementares desenvolvidos no interior da viga por meio da força cortante V_c com valor constante e independente do valor da força cortante V_{sd} , equivalente ao modelo de cálculo I do item 17.4.2.2 da norma ABNT NBR 6118 (2023).

$$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_{v2} \times f_{cd} \times b \times d \quad (13)$$

com $\alpha_{v2} = 1 - f_{ck}/250$, sendo com f_{ck} em MPa

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b \times x_{II} \quad (14)$$

onde:

x_{II} é a altura da linha neutra no estágio II, dada pela Equação 15;

$$x_{II} = \frac{-\alpha_f \times A_f + \sqrt{\alpha_f^2 \times A_f^2 + 2 \times \alpha_f \times A_f \times b \times d}}{b} \quad (15)$$

sendo α_f a razão entre o módulo de elasticidade do FRP e o módulo de deformação secante do concreto E_{cs} , dado pela Equação 16, para concretos com f_{ck} até 50 MPa, e 17, para concretos com f_{ck} entre 50 MPa e 90 MPa.

$$E_{cs} = \alpha_i \times \alpha_E \times 5600 \times \sqrt{f_{ck}} \quad (16)$$

$$E_{cs} = \alpha_i \times \alpha_E \times 21500 \times \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3} \quad (17)$$

com f_{ck} em MPa, $\alpha_i = (0,8 + 0,2 \times f_{ck}/80) \leq 1,0$ e $\alpha_E = 1,2$, para basalto e diabásio; 1,0, para granito e gnaiss; 0,9, para calcário; e 0,7, para arenito.

f_{ctd} é a resistência de cálculo do concreto à tração, dada pelas Equações 18, para concretos com f_{ck} até 50 MPa, e 19, para concretos com f_{ck} entre 50 MPa e 90 MPa;

$$f_{ctd} = (0.21 \times f_{ck}^{2/3}) / \gamma_c \quad (18)$$

$$f_{ctd} = 1,484 \times \ln[1 + 0,1 \times (f_{ck} + 8)] / \gamma_c \quad (19)$$

sendo γ_c o coeficiente de ponderação de resistência do concreto, igual a 1,4 no ELU normal e f_{ck} em MPa.

$$V_f = f_{fwd} \times 0,9 \times d \times \frac{A_{fw}}{s} \quad (20)$$

onde:

f_{fwd} é a resistência de cálculo da armadura transversal de FRP, igual a f_{fwk} / γ_{FRP} , sendo f_{fwk} a resistência característica ou nominal do estribo, considerada como o menor valor dentre f_{fbk} (v. Equação 21) e $5\% \times E_f$;

A_{fw} é a área da seção transversal do estribo;

s é o espaçamento entre os estribos.

$$f_{fbk} = \left(0,05 \times \frac{r_b}{\phi} + 0,3 \right) \times f_{fk} \quad (21)$$

onde:

r_b é o raio interno de dobra da barra de FRP, que deve ser igual a pelo menos três vezes o valor de ϕ , conforme a norma ABNT NBR 17201-1 (2025);

ϕ é o diâmetro nominal da barra de FRP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Duranovic *et al.* (1997) ensaiaram duas vigas de concreto de 150 mm x 250 mm x 2500 mm de dimensões, armadas com armaduras longitudinais (3 barras de 13,5 mm de diâmetro) e transversais (estribos de seção retangular de 10 mm x 4 mm de dimensões) de GFRP (polímero reforçado com fibras de vidro) com o objetivo de encontrar suas resistências à flexão e à força cortante.

A Figura 4 apresenta o esquema estrutural, as dimensões e as armaduras das vigas ensaiadas por Duranovic *et al.* (1997).

O parâmetro variado nas vigas foi o espaçamento entre estribos: 76,7 mm para a viga GB10 e 153 mm para a viga GB11.

O concreto das vigas tinha resistência média à compressão de 39,8 MPa e o agregado graúdo possuía 20 mm de dimensão máxima. O cobrimento do concreto foi de 20 mm.

As barras longitudinais de GFRP possuíam resistência à tração e módulo de elasticidade iguais a 1000 MPa e 45 GPa, enquanto os estribos fechados de GFRP, com dimensões de 110 mm x 210 mm, apresentavam resistência à tração de 270 MPa. Na Figura 5, observam-se as armaduras utilizadas nas vigas.

A viga GB10, com estribos espaçados a cada 76,7 mm, apresentou carga de ruptura de 103,0 kN, enquanto a viga GB11, com estribos espaçados a cada 153 mm, apresentou carga de ruptura de 98,0 kN.

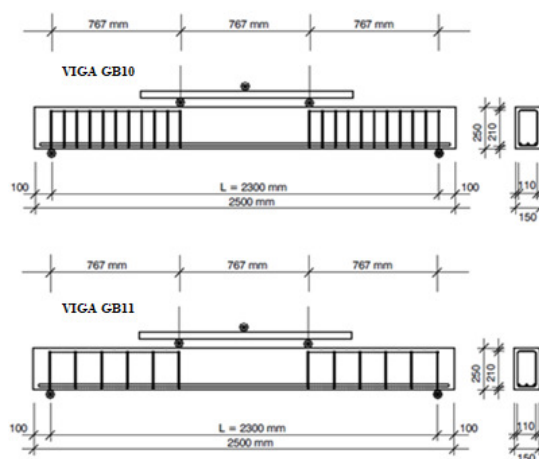


Figura 4. Esquema estrutural, dimensões (em mm) e armaduras das vigas ensaiadas por Duranovic *et al.* (1997).



Figura 5. Armaduras utilizadas nas vigas ensaiadas por Duranovic *et al.* (1997).

As Figuras 6 e 7 ilustram as curvas carga–flecha no meio do vão e carga–deformação da armadura longitudinal no meio do vão da viga GB10, que rompeu por flexão, enquanto a Figura 8 ilustra a curva carga–deformação do estribo localizado a 307 mm do apoio da viga GB11, que rompeu por cisalhamento.



Figura 6. Curva carga–flecha no meio do vão da viga GB10 ensaiada por Duranovic *et al.* (1997).

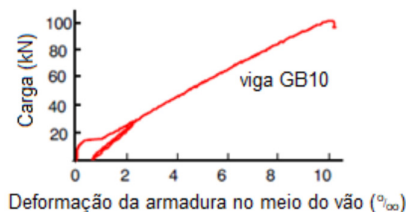


Figura 7. Curva carga–deformação da armadura longitudinal do vão da viga GB10 ensaiada por Duranovic *et al.* (1997).

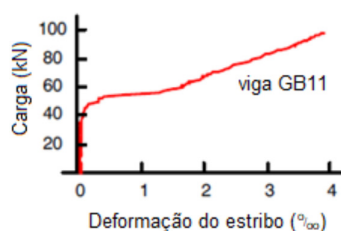


Figura 8. Curva carga-deformação do estribo localizado a 307 mm do apoio da viga GB11 ensaiada por Duranovic *et al.* (1997).

A Figura 9 ilustra o aspecto pós-ruptura das vigas GB10 e GB11.



Viga GB10



Viga GB11

Figura 9. Aspecto pós-ruptura das vigas GB10 e GB11 ensaiadas por Duranovic *et al.* (1997).

A taxa de armadura longitudinal ρ_f das vigas GB10 e GB11, cada uma com 3 barras de 13,5 mm de diâmetro, é igual a $429,4 \text{ mm}^2 / (150 \text{ mm} \times 219,25 \text{ mm}) = 1,31\%$.

Os valores de resistência dos materiais são (concreto e GFRP), em seguida, obtidos considerando seus coeficientes de ponderação de resistência unitários (γ_c e $\gamma_{FRP} = 1,00$).

Para o concreto com resistência à compressão de 39,8 MPa, os valores de λ , α_c , η_c , f_{cd} e ϵ_{cu} são, nesta ordem, 0,80, 0,85, 1,00, 39,8 MPa e 3,5‰.

Para as barras longitudinais de GFRP, os valores de f_{fd} e E_f são 1000 MPa e 45 GPa, respectivamente.

Portanto, o valor da taxa de armadura balanceada ρ_{fb} (v. Equação 1) é igual a $0,80 \times 0,85 \times 1,00 \times 39,8 \text{ MPa} / 1000 \text{ MPa} \times (45000 \text{ MPa} \times 3,5/1000) / (45000 \text{ MPa} \times 3,5/1000 + 1000 \text{ MPa}) = 0,37\%$.

Como $\rho_f = 1,31\%$ é maior que $\rho_{fb} = 0,37\%$, os valores da altura da linha neutra na ruptura da viga x_u e da tensão de cálculo da armadura de FRP à tração σ_{fd} , dados pelas Equações 7 e 5, são iguais a 52,68 mm e 498,0 MPa, respectivamente.

Por conseguinte, o momento fletor resistente M_{Rd} (v. Equação 3) para as vigas GB10 e GB11 é igual a $498,0 \text{ MPa} \times 429,4 \text{ mm}^2 \times (219,25 \text{ mm} - 0,80 \times 52,68 \text{ mm} / 2) = 42378921,3 \text{ N}\cdot\text{mm} = 42,38 \text{ kNm}$.

Sabendo-se que o vão de cisalhamento das vigas GB10 e GB11 é de 767 mm, conforme se vê na Figura 1, a carga teórica de ruptura à flexão das vigas GB10 e GB11 é igual a $2 \times 42,38 \text{ kN}\cdot\text{m} / 0,767 \text{ m} = 110,5 \text{ kN}$.

O momento fletor de fissuração M_r (v. Equação 8) das vigas GB10 e GB11 é igual a $[0,21 \times 39,8^{2/3} \text{ MPa} \times (150 \text{ mm} \times 250^3 \text{ mm}^3)/12] / (250 \text{ mm} / 2) = 3824970,0 \text{ N}\cdot\text{mm} = 3,82 \text{ kN}\cdot\text{m}$. Como o seu vão de cisalhamento é igual a 767 mm, de acordo com a Figura 1, a carga teórica de fissuração das vigas GB10 e GB11 é igual a $2 \times 3,82 \text{ kN}\cdot\text{m} / 0,767 \text{ m} = 10,0 \text{ kN}$, o que está bem próximo da carga experimental de fissuração, conforme se vê nas Figuras 6 e 7.

A força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto V_{Rd2} (v. Equação 13) é igual a $0,27 \times (1 - 39,8 \text{ MPa}/250) \times 39,8 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times 219,25 \text{ mm} = 297146,4 \text{ N} = 297,2 \text{ kN}$.

A resistência de cálculo do concreto à tração, f_{ctd} (v. Equação 18), é igual a $0,21 \times 39,8^{2/3} = 2,45 \text{ MPa}$.

Admitindo-se que o tipo de agregado graúdo do concreto seja granito, o valor do módulo de deformação secante do concreto E_{cs} (v. Equação 16) é igual a $(0,8 + 0,2 \times 39,8 \text{ MPa}/80) \times 1,0 \times 5600 \times (39,8)^{0,5} = 31778,31 \text{ MPa}$. Assim, o valor de α_f é igual a $45000 \text{ MPa} / 31778,31 \text{ MPa} = 1,42$.

A altura da linha neutra no estágio II x_{II} (v. Equação 7) é igual a $[-1,42 \times 429,4 \text{ mm}^2 + (1,42^2 \times 429,4^2 \text{ mm}^4 + 2 \times 1,42 \times 429,4 \text{ mm}^2 \times 150 \text{ mm} \times 219,25 \text{ mm})^{0,5}] / (150 \text{ mm}) = 38,35 \text{ mm}$.

A parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares aos da treliça V_c (v. Equação 14) é igual a $0,6 \times 2,45 \text{ MPa} \times 150 \text{ mm} \times 38,35 \text{ mm} = 8456,2 \text{ N} = 8,5 \text{ kN}$.

A resistência de cálculo da armadura transversal de FRP f_{fwd} da Equação 20 é igual a $5/1000 \times 45000 \text{ MPa} = 225 \text{ MPa}$, pois este valor é menor que o f_{fbk} , igual a 270 MPa.

A parcela de força cortante absorvida pela armadura transversal em FRP V_f (v. Equação 20) é igual a $225 \text{ MPa} \times 0,9 \times 219,25 \text{ mm} \times (2 \times 40 \text{ mm}^2) / 76,7 \text{ mm} = 46308,3 \text{ N} = 46,3 \text{ kN}$, para a viga GB10, e igual a $225 \text{ MPa} \times 0,9 \times 219,25 \text{ mm} \times (2 \times 40 \text{ mm}^2) / 153 \text{ mm} = 23214,7 \text{ N} = 23,2 \text{ kN}$, para a viga GB11.

Então, a resistência à força cortante da viga GB10 é o menor valor entre $V_{Rd2} = 297,2 \text{ kN}$ e $V_{Rd3} = 8,5 \text{ kN} + 46,3 \text{ kN} = 54,8 \text{ kN}$, o que corresponde a uma carga



teórica de ruptura à força cortante de 109,6 kN. Em contrapartida, a resistência à força cortante da viga GB11 é o menor entre $VRd2 = 297,2$ kN e $VRd3 = 8,5$ kN + $23,2$ kN = $31,7$ kN, o que leva a uma carga teórica de ruptura à força cortante de 63,4 kN.

A Tabela 1 apresenta os valores teóricos e experimentais de carga de ruptura à flexão e à força cortante ($P_{u,exp}$ e $P_{u,teo}$) das vigas GB10 e GB11 ensaiadas por Duranovic *et al.* (1997).

Tabela 1. Valores de P_u das vigas GB10 e GB11.

Viga	Flexão		Força cortante	
	$P_{u,exp}$ (kN)	$P_{u,teo}$ (kN)	$P_{u,exp}$ (kN)	$P_{u,teo}$ (kN)
GB10	103,0	110,5	-	109,6
GB11	-	110,5	98,0	63,4

A viga GB10, que rompeu por flexão, apresentou carga de ruptura experimental (103,0 kN) cerca de 93% da carga de ruptura teórica (110,5 kN).

A viga GB11, que se rompeu por força cortante, alcançou a carga de ruptura experimental (98,0 kN), cerca de 155% da carga de ruptura teórica (63,4 kN).

CONCLUSÃO

Verificou-se que os valores teóricos de carga de ruptura à flexão e à força cortante, obtidos com o uso da norma ABNT NBR 17196 (2025), foram compatíveis com os valores experimentais de Duranovic *et al.* (1997), que ensaiaram vigas de seção transversal retangular armadas com barras longitudinais e estribos de GFRP.

Conforme a teoria de dimensionamento à flexão de vigas de seção retangular armadas com barras longitudinais de FRP, apresentada pela norma ABNT NBR 17196 (2025), a carga de ruptura teórica da viga GB10 foi apenas cerca de 7% superior à carga de ruptura experimental.

A teoria de dimensionamento à força cortante, recomendada pela norma ABNT NBR 17196 (2025) para vigas armadas com estribos de FRP, mostrou-se conservadora, pois a carga de ruptura teórica da viga GB11 foi cerca de 35% inferior à carga de ruptura experimental.

REFERÊNCIAS

Abbood, I. S.; Odaa, S. A.; Hasan, K. F.; Jasim, M. A.. Properties evaluation of fiber reinforced polymers and their constituent materials used in structures – A review. *Materials Today: Proceedings*, v. 43, pp. 1003-1008, 2021.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 17196. Projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras (FRP). Rio de Janeiro, 2025.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 17201-1. Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado – Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2025.

Duranovic, N.; Pilakoutas; Waldron, P.. Tests on concrete beams reinforced with glass fibre reinforced plastic bars. *Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*, pp. 479 - 486, Japan Concrete Institute, 1997.