



ESTUDO NUMÉRICO DE PILARES REFORÇADOS COM LAMINADOS DE CFRP SUBMETIDOS A FLEXO-COMPRESSÃO NORMAL

Jéssica Ribeiro Filgueira dos Santos

Izabel Castro de Abreu Neta

Marcos Honorato de Oliveira

jessicaribeiro100@gmail.com

izabel.castroa@gmail.com

honorato.eng@gmail.com

Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Carlos Eduardo Luna de Melo

carlosluna@unb.br

Universidade de Brasília, Departamento de Tecnologia em Arquitetura e Urbanismo, Campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, 70910-900, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

Resumo. O objetivo deste trabalho é a implementação de um algoritmo na linguagem Python para análise de pilares esbeltos submetidos a flexo-compressão normal reforçados com lâminas de CFRP por meio de diagramas de interação. Os dados utilizados foram de ensaios de quatro pilares com seção transversal de 250 mm x 120 mm e altura de 2500 mm, com índice de esbeltez de 76,5, sendo dois de referência e dois reforçados nas faces da direção de menor inércia, variando a excentricidade. Também é determinada a estimativa da capacidade de carga a partir de métodos simplificados normativos para a consideração dos efeitos de segunda ordem, são eles: método do pilar-padrão com rigidez aproximada, método do pilar-padrão com curvatura aproximada, ambos dispostos na ABNT NBR 6118:2014, que apresentaram valores contra a segurança com relação média, $P_{u,exp}/P_{u,teo}$, igual a 0,89 e 0,92, respectivamente e do método do ACI 318-14, que obteve melhores resultados com, $P_{u,exp}/P_{u,teo}$ igual a 1,32. Os resultados experimentais mostram um ganho de resistência com a técnica de reforço utilizada, de 14,7% e 36,7%, para excentricidades relativas (e/h) de 0,25 e 0,50, respectivamente.

Palavras-Chave: Pilares; Concreto armado; Flexo-compressão normal; CFRP; Diagramas de interação.

CILAMCE 2017

Proceedings of the XXXVIII Iberian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering
P.O. Faria, R.H. Lopez, L.F.F. Miguel, W.J.S. Gomes, M. Noronha (Editores), ABMEC, Florianópolis, SC, Brazil,
November 5-8, 2017.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o uso de Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (*Carbon Fiber Reinforced Polymer* - CFRP) é uma das soluções que trazem bons resultados para o reforço de estruturas em concreto armado. Duas técnicas estão sendo utilizadas para a aplicação de CFRP nas estruturas de concreto armado que são as técnicas EB (*Externally Bonded*) e a NSM (*Near Surface Mounted*). A primeira consiste na aplicação de mantas ou laminados de fibras externamente à superfície do concreto. Já a técnica a NSM consiste na aplicação das fibras, no formato de lâminas ou barras, em ranhuras feitas na superfície do elemento na região do cobrimento, sem que atinja a armadura já existente para evitar maiores danos à estrutura já em degradação.

Uma das etapas importantes no cálculo de pilares reforçados é a determinação dos esforços resistentes da seção transversal. Os esforços resistentes são obtidos por meio da elaboração de diagramas de interação da seção transversal, onde se leva em conta a resistência do concreto, da armadura e do reforço de CFRP. Um diagrama de interação é um conjunto de curvas que relacionam os esforços solicitantes (força normal e momento fletor), que levam a seção ao Estado Limite Último. Desse modo, em uma situação real, através desses diagramas é possível dimensionar a quantidade de reforço necessária para a recuperação de um pilar de concreto armado.

O objetivo deste trabalho é a implementação de um algoritmo na linguagem *Python* para produção de uma ferramenta de análise de pilares com esbeltez média submetidos a flexo-compressão normal reforçados com lâminas de CFRP através da técnica NSM. Essa análise é feita através dos diagramas de interação e também pela determinação da estimativa da capacidade de carga a partir de métodos simplificados normativos para a consideração dos efeitos de segunda ordem.

De acordo com Melo (2009), o estudo experimental de pilares, principalmente os de maior esbeltez, são mais difíceis de serem realizados devido às limitações nos sistemas de ensaio, equipamentos, geometria do elemento, que devem ser cuidadosamente executados para evitar imprecisões nos resultados. Assim, a relevância desse estudo se dá pelo fato de que na literatura há poucos estudos que consideram pilares de média esbeltez reforçados com a técnica NSM, sendo mais frequentes estudos sobre pilares curtos, em que a análise, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, pode ser feita desprezando os esforços locais de 2ª ordem. Portanto, rotinas computacionais que auxiliam nas análises são de grande utilidade para o desenvolvimento da área de pesquisa, evitando métodos que gerem menor precisão como o uso de tabelas.

2 FORMULAÇÃO TEÓRICA

Um elemento está submetido a flexo-compressão quando além de um esforço de compressão devido à uma carga externa também ocorre a flexão do elemento, devido a presença do momento fletor, ocasionado por uma excentricidade da carga em relação ao centro de gravidade da seção. Quando a flexão ocorre em um plano que contenha os eixos de simetria das seções transversais do elemento estrutural, a solicitação é denominada flexo-compressão normal e tem-se que a profundidade da linha neutra é a incógnita do problema já que sua orientação é conhecida, pois sempre será perpendicular ao plano de ação do momento fletor. Este tipo de solicitação é representado na Fig. 1.

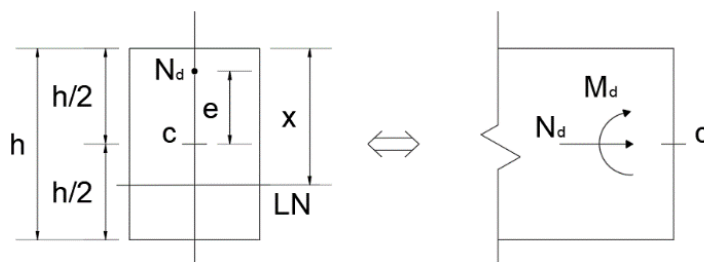


Figura 1 – Seção transversal sob flexo-compressão normal (ARAÚJO, 2003)

Onde, h é a altura da seção transversal; b é a largura da seção transversal; M_d é o momento fletor de cálculo; N_d é o esforço normal de cálculo; e é a excentricidade da carga, c é o centroide da seção e x a profundidade da linha neutra (LN).

Na formulação considerou-se a seção com armadura e reforço distribuídos de forma simétrica e dispostas em camadas espaçadas uniformemente ao longo de sua altura e com a mesma quantidade de barras e reforço em cada camada, como por exemplo a configuração da seção na Fig. 2.

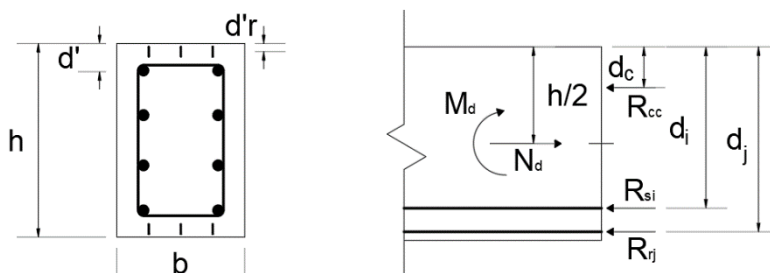


Figura 2 – Seção transversal de concreto armado reforçado e resultante das tensões e esforços solicitantes (ARAÚJO, 2003) adaptado

Onde, d' é a distância do centro das camadas de aço externas até as bordas da seção; $d'r$ é a distância do centro das camadas de reforço até as bordas da seção; R_{cc} é a resultante de compressão no concreto; R_{si} e R_{rj} são as resultantes de tensões em camadas i e j genéricas de armadura e de reforço, respectivamente; d_c , d_i e d_j são as distâncias de cada resultante até a borda superior da seção.

Araújo (2003) define vários termos para se fazer o equilíbrio da seção transversal, que neste estudo foram adaptados para incluir o reforço de fibras na formulação. Primeiramente tem-se os seguintes parâmetros geométricos:

$$\delta = \frac{d'}{h}; \delta_r = \frac{d'r}{h}; \xi = \frac{x}{h} \quad (1)$$

Onde, ξ é a profundidade relativa da linha neutra.

Os esforços solicitantes por sua vez são convertidos para termos adimensionais, sendo ν o esforço normal reduzido e μ o momento fletor reduzido:

$$\nu = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}; \mu = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{cd}} \quad (2)$$

Onde, σ_{cd} é o valor da resistência à compressão do concreto de projeto (f_{cd}), multiplicado por um coeficiente, que no caso de seção transversal constante é igual a 0,85.

A área de aço e área de reforço na seção são representadas pela taxa mecânica de armadura ω e pela taxa mecânica de reforço ω_r :

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}}; \omega_r = \frac{A_r \cdot f_{rd}}{b \cdot h \cdot \sigma_{cd}} \quad (3)$$

Onde f_{yd} é a tensão de escoamento do aço de projeto e f_{rd} a resistência à tração do reforço.

Definida a notação, tem-se a formulação do equilíbrio das forças em termos adimensionais:

$$\sum F_x = \nu - r_c - \frac{\omega}{n \cdot f_{yd}} \cdot \sum_{i=1}^{nc} n_i \cdot \sigma_{sdi} - \frac{\omega_r}{nr \cdot f_{rd}} \cdot \sum_{j=1}^{ncr} n_j \cdot \sigma_{rj} = 0 \quad (4)$$

E também o equilíbrio dos momentos:

$$\sum M = \mu - 0,5 \cdot \nu + r_c \cdot \beta_c + \frac{\omega}{n \cdot f_{yd}} \cdot \sum_{i=1}^{nc} n_i \cdot \beta_i \cdot \sigma_{sdi} + \frac{\omega_r}{nr \cdot f_{rd}} \cdot \sum_{j=1}^{ncr} n_j \cdot \beta_j \cdot \sigma_{rj} = 0 \quad (5)$$

Onde, r_c e β_c são parâmetros que dependem da profundidade relativa da linha neutra (ξ); β_i e β_j dependem dos parâmetros δ e δ_r e do número de camadas de aço (nc) e de reforço (ncr), respectivamente; n e nr são o número total de barras de aço e de lâminas de reforço, respectivamente; n_i e n_j são o número de barras de aço na camada i e o número de lâminas de reforço na camada j , respectivamente; σ_{sdi} e σ_{rj} são as tensões de cálculo em cada camada de aço e reforço, calculadas pela lei de Hooke a partir da deformação nas barras que por sua vez é obtida pelo diagrama de domínios de deformação disposto na ABNT NBR 6118:2014.

Dado um esforço normal reduzido ν , para encontrar o valor de ξ basta encontrar a raiz de uma função $f(\xi)$ tal que:

$$f(\xi) = \nu - r_c - \frac{\omega}{n \cdot f_{yd}} \cdot \sum_{i=1}^{nc} n_i \cdot \sigma_{sdi} - \frac{\omega_r}{nr \cdot f_{rd}} \cdot \sum_{j=1}^{ncr} n_j \cdot \sigma_{rj} \quad (6)$$

Como na Eq. (4). Sendo que ξ situa-se no intervalo de $[0, \infty)$. Desse modo, com o valor de ξ , substitui-se na Eq. (5) e se obtém o valor de μ e assim tem-se um par de esforço normal e momento fletor reduzidos.

3 MÉTODOS SIMPLIFICADOS

A análise de 2ª ordem de uma estrutura considera a geometria deformada da mesma, o que faz com que os cálculos sejam mais precisos. Desse modo, as normas propõem modelos de cálculo para a consideração dos efeitos de 2ª ordem para os pilares. Nesse estudo, devido à condição de apoio dos pilares e por se tratar de elementos isolados, houve a dispensa dos efeitos globais de 2ª ordem. Portanto, para a estimativa da capacidade de carga, foram implementados métodos que consideram os efeitos locais de 2ª ordem, aplicados a elementos com esbeltez média, que corresponde ao intervalo de 35 a 90. São eles: método do pilar- padrão com rigidez aproximada, método do pilar-padrão com curvatura aproximada, ambos oriundos da ABNT NBR 6118:2014 e método do ACI 318-14. A esbeltez λ de um elemento é definida da seguinte forma:

$$\lambda = \frac{l_e}{i} ; \text{ com } i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (7)$$

Onde, l_e é o comprimento equivalente do pilar, que depende da vinculação dos apoios; i é o raio mínimo de giração da seção transversal de concreto; I é o momento de inércia da seção e A é a área da seção bruta de concreto.

3.1 Método do pilar-padrão com rigidez aproximada - NBR (1)

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 este método só pode ser utilizado para elementos com índice de esbeltez ≤ 90 , nele a não linearidade geométrica é considerada de forma aproximada pela suposição que a deformação da barra é seinodal, já a não linearidade física é considerada através de uma expressão aproximada da rigidez.

O momento total por esse método é calculado a partir da majoração do momento de 1ª ordem, que para o caso de dimensionamento e confecção dos diagramas de interação, ou seja, no estado limite último, é dada pela solução da seguinte equação:

$$a \cdot M_{Sd,tot} + b \cdot M_{Sd,tot} + c = 0 \quad (8)$$

Onde:

$$a = 5 \cdot h \quad (9)$$

$$b = h^2 \cdot N_d - \frac{N_d \cdot l_e^2}{320} - 5 \cdot h \cdot \alpha_b \cdot M_{1d,A} \quad (10)$$

$$c = -N_d \cdot h^2 \cdot \alpha_b \cdot M_{1d,A} \quad (11)$$

Onde, α_b é um coeficiente que no caso apresentado é igual a 1 (pilar biapoiado sem cargas transversais sem consideração dos efeitos globais de 2ª ordem); $M_{1d,A}$ é o valor de cálculo de 1ª ordem do momento, dado por $N_d \cdot e_1$, em que e_1 é a excentricidade inicial.

3.2 Método do pilar-padrão com curvatura aproximada - NBR (2)

Assim como o anterior, este método só pode ser utilizado para elementos com índice de esbeltez ≤ 90 e a não linearidade geométrica é considerada de forma aproximada pela suposição que a deformação da barra é seinodal, já a não linearidade física é considerada através de uma expressão aproximada da curvatura.

O momento total máximo por esse método é calculado a partir da expressão:

$$M_{d,tot} = a_b \cdot M_{1d,A} + N_d \cdot \frac{l_e^2}{10} \cdot \frac{1}{r} \geq M_{1d,A} \quad (12)$$

Sendo $\frac{1}{r}$ a curvatura, que pode ser avaliada pela expressão aproximada:

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \cdot (\nu' + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \text{ com } \nu' = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (13)$$

Onde, ν' é o esforço normal reduzido para o cálculo do método.

3.3 ACI 318-14

Utilizou-se o método de amplificação dos momentos, onde o momento total M_u é calculado a partir da majoração do momento de primeira ordem M_1 da seguinte forma:

$$M_u = \delta_{ns} \cdot M_1 \quad (14)$$

Onde,

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \cdot P_e}}; \text{ com } P_e = \frac{\pi^2 EI}{l_e^2} \quad (15)$$

Onde, δ_{ns} é o coeficiente de amplificação do momento de primeira ordem; C_m é o equivalente ao α_b da ABNT NBR 6118:2014 e também igual 1; P_u é a carga de ruína; P_e é carga crítica de flambagem. EI é a rigidez, que foi adaptada para incluir o reforço conforme propõe Richardson (2013), sendo calculada por:

$$EI = \frac{0,2 \cdot E_c \cdot I_g + E_s \cdot I_s + E_r \cdot I_r}{1 + \beta_{dns}} \quad (16)$$

Onde, E_c , E_s e E_r são os módulos de elasticidade do concreto, do aço e do reforço, respectivamente; I_g , I_s e I_r são os momentos de inércia da seção bruta de concreto, de aço e de reforço, respectivamente; β_{dns} é a razão entre o máximo fator de carga suportado e o máximo fator de carga associado.

4 DADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Pilares

Os dados utilizados no programa foram obtidos de ensaios de quatro pilares realizados por Abreu Neta (2017). Todos possuíam seção transversal de 250 mm x 120 mm e altura de 2500 mm, com índice de esbeltez igual a 76,5, sendo dois de referência e dois reforçados nas faces da direção de menor inércia. A variável analisada na pesquisa foi a excentricidade em que a carga foi aplicada, um par dos pilares (referência e reforçado) tinha carga excêntrica de 30 mm e o outro de 60 mm. As armaduras longitudinais dos pilares foram constituídas de seis barras com diâmetro de 10 mm e armadura transversal foi composta por estribos com diâmetro de 5 mm.

Na nomenclatura utilizada por Abreu Neta (2017) o caractere C corresponde a *Column* os caracteres numéricos representam o valor da excentricidade (em milímetros), o último representado por U ou S, significa não reforçado (*Unstrengthened*) e reforçado (*Strengthened*), respectivamente. Na Tabela 1 estão especificadas as características de cada pilar.

Tabela 1– Características dos Pilares

Pilar	l (mm)	l_e (mm)	$e1$ (mm)	f_c (MPa)	E_c (GPa)	f_y (MPa)	E_s (GPa)
C30U	2500	2650	30	33	30,7	596	198
C30S	2500	2650	30	33	30,7	596	198
C60U	2500	2650	60	33	30,7	596	198
C60S	2500	2650	60	33	30,7	596	198

Onde, l é o comprimento do pilar; l_e é o comprimento de flambagem do pilar biapoado, que é igual a distância entre as rótulas de apoio; $e1$ é a excentricidade inicial; f_c é a resistência à compressão do concreto; f_s é a tensão de escoamento do aço.

4.2 Sistema de Reforço

O reforço utilizado consiste num compósito de lâminas de CFRP *weber.rep fiber C strip* e adesivo epóxi *weber. rep CF putty strip*. As lâminas tinham seção de 1,2 mm de espessura por 10 mm de largura, sendo que inicialmente a largura das lâminas eram de 50 mm, e que tiveram de ser cortadas no tamanho requerido. Foi considerado uma aderência perfeita entre o adesivo e o concreto. As características do reforço e do adesivo estão na Tabela 2 e Tabela 3 respectivamente.

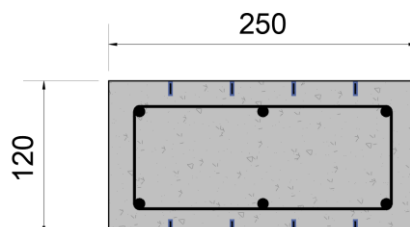
Tabela 2 - Propriedades mecânicas das lâminas weber.rep fiber C strip

Resistência à tração de projeto	3000 MPa
Módulo de deformação a tração	165 GPa
Alongamento	1,8%

Tabela 3 – Propriedades do adesivo weber. rep CF putty strip

Massa específica	1,650 kg/dm ³
Resistência à compressão 7 dias	35 MPa
Aderência	3,0 MPa (100% no concreto)

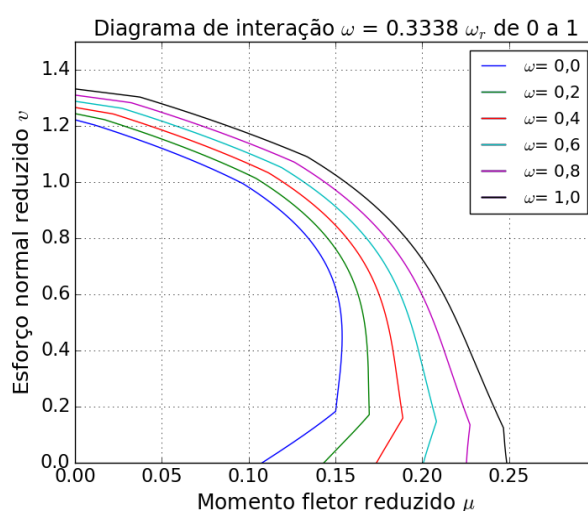
Na Figura 3 tem-se a seção transversal do pilar com a disposição das armaduras e dos laminados de CFRP:

**Figura 3 – Seção transversal do pilar de concreto armado reforçado com CFRP**

5 METODOLOGIA COMPUTACIONAL E RESULTADOS

O diagrama de interação é um conjunto de curvas em que cada uma delas é formada pela plotagem de vários pares de esforços solicitantes v e μ , que levam a seção à ruína, ou seja, que a faz atingir o Estado Limite Último. Assim, dado um esforço normal, pode-se encontrar o valor de ξ a partir da Eq. (6) e depois calcular o valor de μ isolando-o na Eq. (5). Na rotina computacional é preciso da implementação de um método numérico de solução de equações, assim, a incógnita foi calculada pelo método da secante.

Desse modo, podem ser plotadas várias curvas com taxas mecânicas de reforço diferentes para formar o diagrama de interação. Assim, para avaliação da influência do reforço na seção estudada, fixou-se a taxa mecânica de armadura (ω) com o valor de 0,3338, correspondente às 6 barras de aço utilizadas, e variou-se a taxa mecânica de reforço (ω_r) de 0 a 1 em intervalos iguais como mostra a Fig. 4.

**Figura 4 – Diagrama de interação**

A partir do diagrama acima, tem-se então que teoricamente o reforço tem maior influência no aumento da capacidade do elemento suportar os esforços de flexão do que de compressão, considerando sua eficiência total. Isso se deve ao fato de que a área da seção de reforço é muito pequena, sendo assim o ganho de resistência na compressão centrada, quando o momento fletor é nulo, é inferior ao ganho na flexo-compressão normal. Além de disso, por ter uma resistência muito elevada em relação ao aço, o ganho de resistência na flexo-compressão é bem mais expressivo. Isso pode ser observado mais cuidadosamente na Fig. 5, onde tem-se as curvas de interação da seção não reforçada e da seção reforçada.

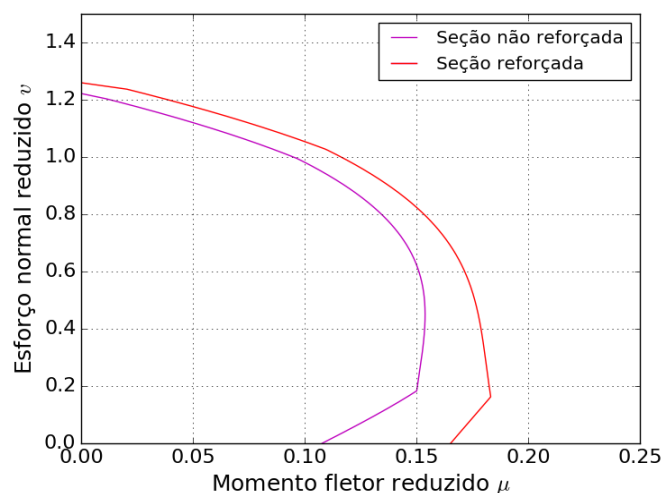


Figura 5 – Comparação entre a curva $\mu - \nu$ da seção reforçada com fibras e a curva da seção não reforçada

Vale ressaltar que o máximo esforço normal reduzido ocorre na compressão centrada, em que a tensão máxima que o concreto suporta, admitida pelas normas, é inferior à tensão máxima admitida para a flexo-compressão. Nessa situação, onde o esforço normal reduzido é máximo e o momento fletor reduzido é nulo, temos que o valor da excentricidade relativa tende ao infinito o que gera um erro na rotina computacional. Dessa maneira, através de diversas verificações, admitiu-se o valor máximo de ν para o cálculo como sendo 99% da carga referente à compressão centrada.

Na inserção do cálculo da estimativa de carga pelos métodos normativos, para a confecção da curva do diagrama de interação da seção utilizou-se a taxa mecânica de reforço e de aço correspondentes às taxas utilizadas nos ensaios $\omega = 0,3338$ e $\omega_r = 0,3422$. Para o cálculo da carga foram plotados os pares ν e μ , sendo os valores de ν fornecidos e de μ calculados pelos métodos. Assim, o ponto onde as duas curvas se cruzam é a carga de ruína. Para encontrar este ponto foi utilizada uma interpolação linear com os pontos mais próximos. Da Fig. 6 à Fig. 8 tem-se os gráficos da estimativa de carga de ruína dos pilares de referência e dos reforçados pelos 3 métodos já descritos. O programa retorna os valores das cargas de ruína que são mostradas na Tabela 4.

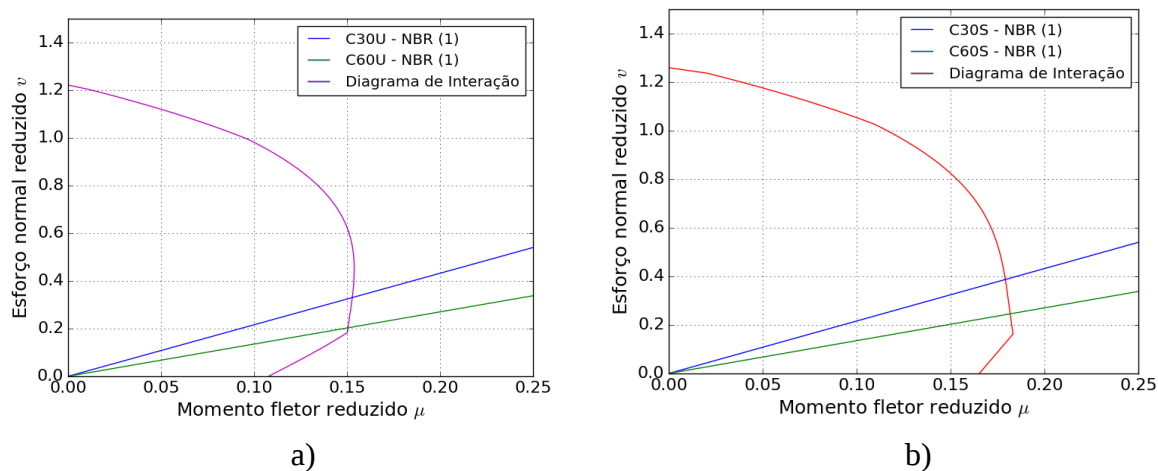


Figura 6 – Estimativa de carga de ruína dos pilares pelo método NBR (1)
a) pilares de referência, b) pilares reforçados com CFRP

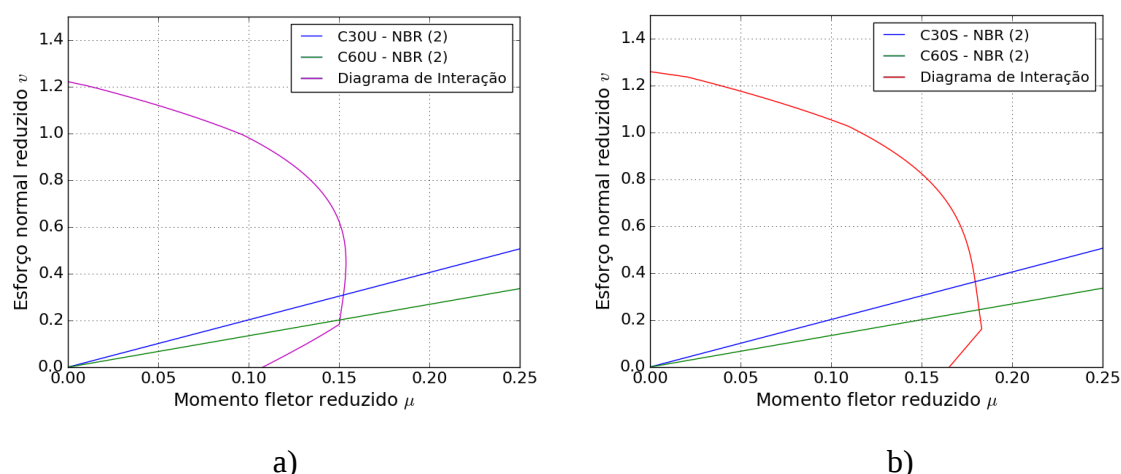


Figura 7 – Estimativa de carga dos pilares pelo método NBR (2)
a) pilares de referência, b) pilares reforçados com CFRP

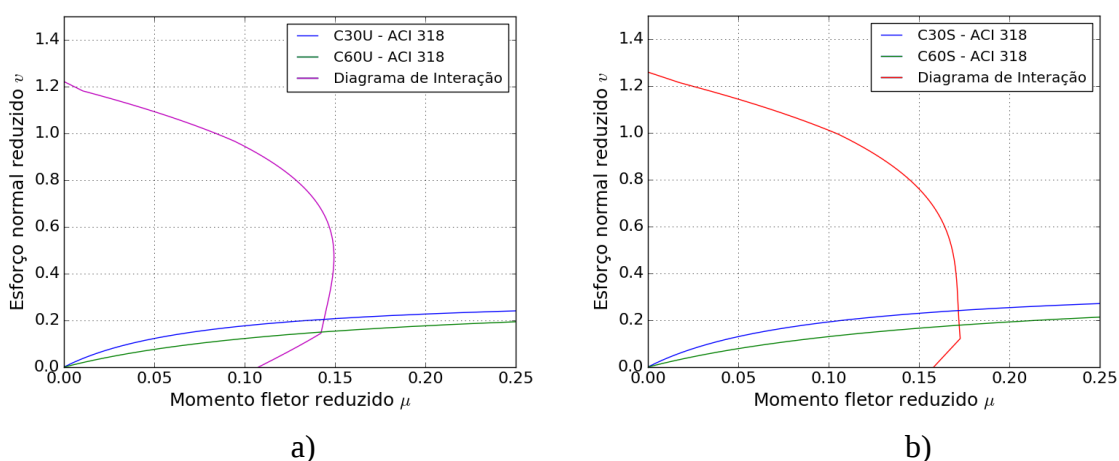


Figura 8 – Estimativa de carga dos pilares pelo método do ACI 318-14
a) pilares de referência, b) pilares reforçados com CFRP

O programa retorna os valores das cargas de ruína que são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados da estimativa de carga de ruína pelas normas

Pilar	e/h (mm)	$P_{u, exp}$ (kN)	$P_{u, NBR (1)}$ (kN)	$P_{u, exp}/$ $P_{u, NBR (1)}$	$P_{u, NBR (2)}$ (kN)	$P_{u, exp}/$ $P_{u, NBR (2)}$	$P_{u, ACI 318}$ (kN)	$P_{u, exp}/$ $P_{u, ACI 318}$
C30U	0,25	254,20	277,9	0,91	259,85	0,98	172,14	1,48
C30S	0,25	291,60	325,79	0,90	306,14	0,95	203,14	1,44
C60U	0,50	141,00	171,19	0,82	170,28	0,83	126,29	1,12
C60S	0,50	192,40	206,69	0,93	205,63	0,94	150,54	1,28

Onde, e/h é a excentricidade relativa, $P_{u, exp}$ é a carga de ruína obtida experimentalmente e $P_{u, NBR (1)}$, $P_{u, NBR (2)}$ e $P_{u, ACI 318}$, são as cargas estimadas pelas normas, respectivamente.

Verifica-se que o método do pilar-padrão com rigidez aproximada e o método do pilar-padrão com curvatura aproximada, apresentaram valores contra a segurança com a média de $P_{u, exp}/P_{u, NBR}$ igual a 0,89 e 0,92, respectivamente. Já o método do ACI 318-14 apresentou melhores resultados, com a média de $P_{u, exp}/P_{u, ACI 318}$ de igual a 1,32. No entanto, verifica-se também que o método do pilar-padrão com curvatura aproximada foi o que apresentou valores mais próximos à unidade. Os resultados obtidos experimentalmente mostram um ganho de resistência com a técnica de reforço utilizada, de 14,7% e 36,7%, para excentricidades relativas (e/h) de 0,25 e 0,50. Vale ressaltar que os valores de previsão da carga de ruína consideram uma eficiência total do reforço, o que não ocorreu na prática.

6 CONCLUSÃO

Os resultados da elaboração do diagrama e da estimativa da capacidade de carga mostraram que a ferramenta é útil na análise proposta quando comparado com os ensaios realizados. Por limitações no processo iterativo o intervalo de variação do esforço normal vai até 99% da carga máxima que a seção resiste, porém, este fato não interfere significativamente na avaliação final. É importante ressaltar que os resultados foram obtidos para um pequeno número de pilares ensaiados e considerou-se a eficiência total do reforço nas formulações, o que não ocorreu de fato experimentalmente.

Temos que os métodos normativos considerados neste estudo para a estimativa de carga da carga de ruína dos pilares reforçados, não se mostrou tão eficiente. Porém não é previsto pelas normas o uso deste tipo de material, sendo assim há a necessidade de uma formulação na qual o reforço de fibras é considerado. Uma outra proposta seria utilizar outros métodos, como por exemplo os métodos do pilar-padrão acoplado a diagramas M, N, 1/r e o método geral que estão dispostos na ABNT NBR 6118:2014.

A literatura sobre pilares esbeltos submetidos a carga excêntrica é limitada, razão pela qual são necessários estudos sobre o tema. Assim, o uso de ferramentas computacionais que auxiliam nas análises se faz necessário para o desenvolvimento de novas pesquisas, a fim de se diminuir erros, aumentar a precisão dos resultados e otimizar o processo na geração dos mesmos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Universidade de Brasília (FUB) pelo apoio financeiro e ao Laboratório de Estruturas-LABEST pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa. A empresa Weber Saint-Gobain, por viabilizar esta pesquisa fornecendo o material compósito utilizado para o reforço, a Concrecon Ltda e Cone Concreto pelo fornecimento do concreto.

REFERÊNCIAS

- Abreu Neta, I. C., 2017. *Análise Experimental de Pilares de Concreto Armado Reforçados com Lâminas de CFRP Utilizando a Técnica NSM*. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Publicação E.DM - 21A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 191p.
- ACI 318 – American Concrete Institute, 2014. *Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14)*. Farmington Hills.
- Araújo, J. M., 2003. *Curso de concreto armado/José Milton de Araújo*. Rio Grande: Dunas. v.3, 2ed.
- ABNT - Associação brasileira de normas técnicas, 2014. *NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto Armado – procedimento*. Rio de Janeiro.
- Melo, C. E. L., 2009. *Análise Experimental e Numérica de Pilares Birrotulados de Concreto Armado Submetidos a Flexo-compressão normal*. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 006 A/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 415 p.
- Richardson, T., 2013. *Strengthening Damaged Reinforced Concrete Beams and Slender Columns using Ultra-High Modulus CFRP Plates*. Master's thesis. Queen's University. Department of Civil Engineering. Kingston, Ontario, Canadá, 74p.