

PROGRAMA PARA CÁLCULO DE ARMADURAS À FLEXÃO E AO CISALHAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO: de acordo com a NBR 6118/2014, e análise comparativa dos resultados com os obtidos através do emprego da NBR 6118/2003

Cláudio Wilson Nóbrega

RESUMO

Este trabalho consiste na elaboração de um programa de dimensionamento, em Excel, que calcula as armaduras de tração e de compressão na flexão, e a armadura de cisalhamento, em vigas de seção retangular de concreto armado, de acordo com a recente Norma NBR 6118/2014. É realizada uma análise comparativa dos resultados com os obtidos através do emprego da NBR 6118/2003. O trabalho também analisa os impactos gerados nos cálculos pelos procedimentos prescritos na nova Norma, no que se refere ao dimensionamento de vigas e lajes. Sabe-se que os grandes programas comerciais calculam integralmente a estrutura de uma edificação, não sendo, porém, de uso prático para uma verificação expedita de uma viga, laje ou de parte de estrutura. A situação é semelhante para o caso de dimensionamento de peças isoladas ou de pequenas estruturas ou, ainda, para o caso de fiscalização de projetos. Estas atividades são comuns na Petrobras e na indústria em geral. O trabalho está calcado na experiência pessoal e corporativa do autor, na área de projetos estruturais em concreto armado, e na sua atividade acadêmica, internamente e externamente à Petrobras. O programa de cálculo pode ser disponibilizado, livremente, pelo autor.

Palavras-chaves: Programa. Armaduras. Vigas. Concreto. NBR 6118/2014.

1 INTRODUÇÃO

A elaboração do presente programa envolveu um trabalho de pesquisa da NBR 6118/2014 e de bibliografia de concreto armado, em especial Santos (2014) e Carvalho (2013). O principal objetivo era a criação de um programa de dimensionamento abrangente e prático, porém com uma interface bastante amigável. A sua utilização é muito simples e não requer o domínio do software Excel.

A elaboração do trabalho implicou em um longo período de testes e contemplou variadas condições de uso e limitrofes, fato que propiciou um aperfeiçoamento continuado do programa.

Uma versão do programa foi elaborada com base na Norma anterior, a NBR 6118/2003, de modo a propiciar uma comparação entre os resultados obtidos com o emprego daquela e da atual Norma, para concretos com $f_{ck} \leq 50$ MPa. Esta análise restringe-se ao dimensionamento das armaduras de flexão, já que os conceitos para o dimensionamento ao cisalhamento mantiveram-se inalterados na Norma de 2014.

No caso de concretos com $f_{ck} > 50$ MPa, destaca-se a variabilidade de alguns parâmetros, em função do f_{ck} , a ser observada no dimensionamento à flexão, comparativamente ao procedimento anterior.

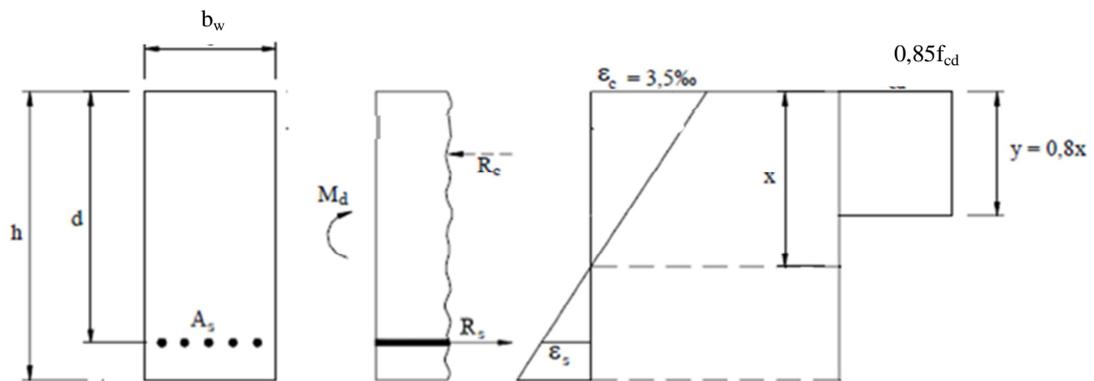
submetida ao esforço de flexão simples normal, são apresentadas, a seguir, as principais formulações utilizadas no programa.

2 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

2.1 FLEXÃO SIMPLES NORMAL

Considerando a seção transversal da viga representada na Figura 1,

Figura 1 - Viga submetida à flexão simples normal.



Fonte: PINHEIRO, 2007.

2.1.1 FÓRMULAS ADIMENSIONAIS

Por serem mais convenientes, as fórmulas adimensionais foram as usadas no programa.

- equação de M_d

$$\frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,68 \cdot \frac{x}{d} - 0,272 \cdot \frac{x^2}{d^2} \quad (1)$$

Denominando $\frac{M_d}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = K_{md}$ e $\frac{x}{d} = K_x$, a equação anterior torna-se:

$$K_{md} = 0,68 \cdot K_x - 0,272 \cdot K_x^2 \quad (2)$$

- expressão do braço de alavanca z

$$\frac{z}{d} = \frac{d - 0,4 \cdot x}{d} = 1 - 0,4 \cdot \frac{x}{d} \quad (3)$$

Chamando $z/d = K_z$ e sendo $K_x = x/d$, obtém-se:

$$K_z = 1 - 0,4 \cdot K_x \quad (4)$$

$$K_x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \quad (6)$$

- cálculo da área necessária de armadura (A_s)

$$A_s = \frac{M_d}{K_z \cdot d \cdot f_{yd}} \quad (5)$$

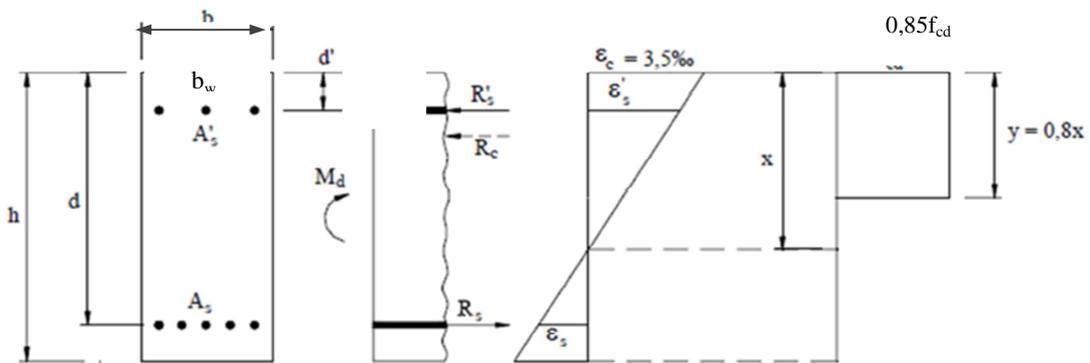
- verificação do domínio de trabalho da peça

Para o aço CA-50, tem-se:

- para $K_x < 0,259 \rightarrow$ domínio 2
- para $0,259 < K_x < 0,628 \rightarrow$ domínio 3

2.1.2 CÁLCULO DE SEÇÕES COM ARMADURA DUPLA

Figura 2 - Viga submetida à flexão simples normal com armadura dupla.



Fonte: PINHEIRO, 2007.

Considerando a Figura 2, obtém-se:

- equação de A_s

$$A_s = \frac{M_{dL}}{K_{zL} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{d1}}{(d-d') \cdot f_{yd}} \quad (7)$$

sendo $M_d = M_{dL} + M_{d1}$

- equação de A'_s

$$A'_s = \frac{M_{d1}}{(d-d') \cdot f'_{s}} \quad (8)$$

- determinação de f'_s (tensão de escoamento no aço comprimido)

$$\text{sendo } \epsilon'_s = \frac{0,0035 (x_L - d'_c)}{x_L}, \quad (9)$$

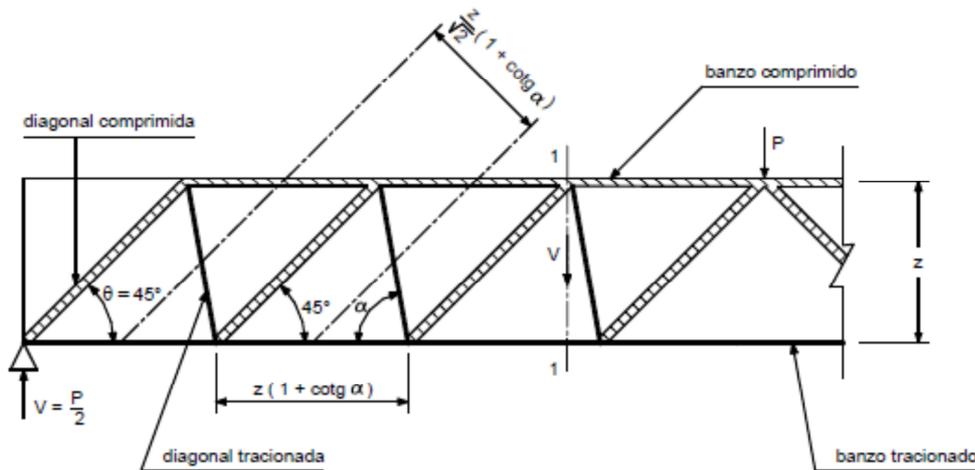
Determina-se f'_s no diagrama $\sigma \times \epsilon$ do aço. Para o aço CA-50, $\epsilon'_{yd} = 0,00207$.

2.2. CISALHAMENTO

Para o cisalhamento, foi adotado o modelo I de cálculo, prescrito pela NBR 6118/2014 e esquematizado na Figura 3. Neste modelo, é adotada a denominada treliça clássica, com ângulo de

inclinação das diagonais comprimidas (θ) fixo em 45° , associada a uma força cortante adicional V_c , proporcionada por mecanismos complementares ao de treliça.

Figura 3 - Treliça clássica de Morsch com diagonais comprimidas a 45° .



Fonte: BASTOS, 2008.

22

A seguir, é apresentada a formulação empregada no programa.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (13)$$

2.2.1 VERIFICAÇÃO DA COMPRESSÃO NA BIELA

$$V_{Rd3} = V_{Sd} \quad (14)$$

$$f_{ctd} = 0,15 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad (15)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}, \quad (10)$$

$$V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d \quad (16)$$

sendo $V_{Sd} = 1,4 V$

$$V_{sw} = V_{Rd3} - V_c \quad (17)$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad (11)$$

$$A_{sw} = V_{sw} / 0,9 \cdot f_{yd} \cdot d \quad (18)$$

$$\alpha_v = (1 - f_{ck} / 250) \quad (12)$$

b_w e d são a base e a altura útil da seção, respectivamente, tomando-se $d = z/0,9$.

3 UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

Ao final deste trabalho, apresentam-se as três páginas que compõem o programa (a página de utilização é somente a primeira), mostrando um

2.2.2 CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL COM ESTRIBOS VERTICAIS

exemplo de cálculo com o emprego de armadura dupla.

Na primeira página também são informados os parâmetros adotados, o modo de uso e as limitações a serem observadas na sua utilização.

Na Entrada de Dados devem ser fornecidos os esforços solicitantes de cálculo, atuantes na seção em estudo da viga (momento fletor M_{sd} e força cortante V_{sd}), a resistência adotada para o concreto (para as classes C15 a C50), a seção transversal adotada inicialmente para a viga (b_w e h), e os valores iniciais das distâncias do centro de gravidade das armaduras às respectivas bordas (d'_t e d'_c). O aço adotado para as armaduras é o CA-50, que é o mais empregado no Brasil.

Com os dados preenchidos, o programa calcula e informa, nos Resultados, a área necessária da armadura de tração e da armadura de compressão, se requerida, devidas à flexão, e a área necessária da armadura de estribos, devida ao cisalhamento, para vigas de seção retangular de concreto armado.

Além disso, são indicadas as quantidades equivalentes de barras, para as diferentes bitolas. Para o cisalhamento, são indicados as bitolas de estribos e os espaçamentos equivalentes.

O programa também informa o domínio de deformação da seção da viga (2 ou 3).

Após a obtenção das armaduras para a primeira seção transversal adotada, pode-se refinar e otimizar o cálculo, introduzindo novas seções transversais,

o que é útil inclusive nos trabalhos de análise e fiscalização de projetos.

O programa também checa a observância e adota as prescrições da NBR 6118/2014 quanto ao detalhamento de vigas.

Destacam-se os seguintes avisos de inconformidade e de condição inadequada para a execução, que são mostrados nos Resultados, quando aplicáveis:

- $A_s + A'_s \approx 4\% A_c$;
- biela não passa;
- espaçamento de estribos < 5 cm;
- verificar adoção de estribos múltiplos;
- $b_w \geq 5d$;
- $b_w < 10$ cm;
- $f_{ck} > 50$ Mpa;
- $x_{lim} \leq d'_c$.

4 ANÁLISE COMPARATIVA COM A NBR 6118/2003

Através de uma versão anterior do programa, baseada na NBR 6118/2003, pôde-se realizar análises comparativas entre aquela Norma e a atual. Foi possível observar, tomando como exemplo o aço CA-50, que para valores de $K_x = x/d$ entre 0,450 e 0,628 (parte final do domínio 3), ocorre, em relação à Norma anterior, uma redução na armadura de tração ao mesmo tempo em que surge a necessidade de armadura de compressão.

Verifica-se que tal se deve ao maior braço de alavanca (aço-aço) com o qual parte do momento solicitante é equilibrado (comparativamente ao braço de alavanca único concreto-aço, do cálculo à armadura simples segundo a Norma anterior). A armadura total passa

a ser um pouco maior do que no cálculo antigo, o que é justificado pela maior ductilidade conferida à viga na rotura.

Depreende-se, dessa nova situação, uma possível tendência no sentido de um dimensionamento com emprego de pequena armadura de compressão, em geral com um valor mínimo para A'_s próximo a 2 ferros de 6,3 mm (menor bitola atual para o CA-50), de modo a tirar proveito da armadura normalmente utilizada como porta-estribo. Desse modo, estar-se-ia quebrando o paradigma de se procurar adotar, ao menos inicialmente, a armadura simples, com a consequente seção maior de concreto, passando a obter-se vigas com menores seções e, portanto, mais leves. Observa-se que a NBR 6118/14 não limita inferiormente o diâmetro da armadura de compressão em vigas.

24

Outro aspecto a ressaltar, nessa análise comparativa, refere-se ao fato de os novos valores-limite para $K_x = x/d$ (0,450 para $f_{ck} \leq 50$ MPa e 0,350 para $f_{ck} > 50$ MPa), para vigas e lajes, a partir dos quais passa a ser indicada a adoção de armadura de compressão são, como esperado, maiores que os valores-limite entre os domínios 3 e 4 para todos os tipos de aço (CA-25, CA-50 e CA-60), conforme se transcreve a seguir:

- CA-25: $K_{x34} = 0,771$;
- CA-50: $K_{x34} = 0,628$;
- CA-60: $K_{x34} = 0,585$.

Constata-se, como consequência desse fato, uma simplificação na construção das tabelas e programas de dimensionamento.

No caso de concretos com $f_{ck} > 50$ MPa, destacam-se os novos valores para os parâmetros α_c e λ , relativos ao efeito Rüschi e à profundidade do diagrama

retangular de tensões, respectivamente, a serem utilizados no dimensionamento à flexão, em função do f_{ck} .

Finalmente, menciona-se a sensível redução nos valores da armadura mínima de tração na flexão, proporcionada por uma revisão no método de cálculo, para concretos com f_{ck} entre 30 e 50 MPa, com percentuais variando de 13 até 28%, respectivamente.

5 CONCLUSÕES

A versatilidade inerente aos programas em Excel favorece um estudo comparativo entre seções estudadas e, conseqüentemente, uma maior otimização dos cálculos, de forma a se obter um dimensionamento econômico. As aplicações incluem cálculos parciais de verificação, envolvendo vigas de uma edificação existente, assim como trabalhos de análise e fiscalização de projetos, dimensionamento de pequenas estruturas ou reforço de vigas.

Além de calcular a área necessária das armaduras de tração e de compressão na flexão, são indicadas as quantidades equivalentes de barras, para as diferentes bitolas comercializadas.

Para o cisalhamento, é calculada a área necessária da armadura de estribos e indicados as bitolas e espaçamentos equivalentes.

Comparativamente com a versão anterior da Norma, observa-se que o dimensionamento à flexão não se torna significativamente antieconômico, pois ocorre uma redução na armadura de tração na parte final do domínio 3, ao passo em que se torna necessária,

porém, a armadura de compressão. A armadura total passa a ser um pouco maior do que no cálculo antigo. Este procedimento é justificável, por propiciar vigas mais dúcteis, e por poder proporcionar vigas com menores alturas e, portanto, com menores pesos próprios.

Constata-se, também, uma simplificação nas tabelas e programas de dimensionamento à flexão de vigas e lajes, propiciada pelo novo procedimento de dimensionamento, em que os limites para a adoção de armadura simples passam a ser independentes do tipo de aço empregado.

Menciona-se, por fim, a redução considerável nos valores da armadura mínima de tração na flexão, para concretos com f_{ck} entre 30 e 50 MPa, com percentuais variando de 13 até 28%, respectivamente.

ABSTRACT

This article consists of the development of a sizing program in Excel, which calculates the tension and compression reinforcement in bending and shear reinforcement, in beams of rectangular section of reinforced concrete, according to recent NBR 6118 / 2014. It performed a comparative analysis of results with those obtained through the use of NBR 6118/2003. This work also analyzes the impacts generated by the calculation procedures prescribed by the new standard, related to the beams and slabs sizing. It is known that large commercial programs integrally calculate the structure of a building, but it is not, however, practical use for a prompt verification of a beam, slab or

structure part. This calculation includes cases of isolated elements, small structures or the activities involving projects inspection. These activities are common in Petrobras and industry in general. This article was based in corporate and personal experience of the author in structural projects in reinforced concrete, and in his academic activity, both internally and externally to Petrobras. The calculation program can be provided freely by the author.

Keywords: Program. Reinforcement. Beams. Concrete. NBR 6118/2014.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, Sergio Hampshire de Carvalho. **A revisão 2014 da NBR 6118**. Rio de Janeiro, 2014. Apresentação.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Carlos: EDUFSCAR, 2013.

SÜSSEKIND, José Carlos. **Curso de concreto, 1**. Porto Alegre: Globo, 1980.

FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto: solicitações normais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

ROCHA, Aderson Moreira da. **Novo curso prático de concreto armado**, 1. Rio de Janeiro: Científica, 1976.

PINHEIRO, Libânio M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos, 2007. Notas de Aula.

BASTOS, Paulo Sergio dos Santos. **Estruturas de concreto**. Bauru, 2008. Notas de Aula.

APÊNDICE

Figura 1 - AV3 - Programa para cálculo de armaduras.

| ENTRADA DE DADOS | | | | RESULTADOS | | | | | |
|-----------------------------------|-------|------|----------------------------------|-----------------------------|------|------|---------------------|-----------------|------|
| VIGA Nº | V02 | | | | | | | | |
| M_{sd} | 25,00 | tf.m | 250,00 KN.m | A_s 18,31 cm ² | | | | | |
| V_{sd} | 20,00 | tf | 200,00 KN | Domínio 3 | | | | | |
| f_{ok} | 30,00 | MPa | | Barras Equivalentes | | | | | |
| Aço CA | 50 | | | | | | | | |
| b_w | 16,00 | cm | | 4 | Φ | 25 | | | |
| h | 45,00 | cm | | 5 | Φ | 22 | | | |
| d'_t (ref. a A_s) | 7,70 | cm | | 6 | Φ | 20 | | | |
| d'_o (ref. a $A's$) | 5,10 | cm | | 9 | Φ | 16 | | | |
| Seção Transversal Ilustrativa | | | | 15 | Φ | 12,5 | | | |
| | | | | 23 | Φ | 10 | | | |
| | | | | 36 | Φ | 8 | | | |
| | | | | 59 | Φ | 6,3 | | | |
| | | | | | | | $A's$ 9,30 | cm ² | |
| | | | | | | | Barras Equivalentes | | |
| | | | | | | | 2 | Φ | 25 |
| | | | | | | | 3 | Φ | 20 |
| | | | | | | | 5 | Φ | 16 |
| | | | | | | | 8 | Φ | 12,5 |
| | | | 12 | Φ | 10 | | | | |
| | | | 19 | Φ | 8 | | | | |
| | | | 30 | Φ | 6,3 | | | | |
| | | | A_{sw} 10,15 | cm ² /m | | | | | |
| | | | Estribos Equivalentes de 2 Ramos | | | | | | |
| | | | Φ 6,3 | c | 6,0 | | | | |
| | | | Φ 8 | c | 9,5 | | | | |
| | | | Φ 10 | c | 15,5 | | | | |

27

| SUBROTINA | | | |
|------------------|-----------|---------------------|------------------|
| fck | 300,00 | Kgf/cm ² | |
| Msd | 25,00 | tf.m | |
| fcd | 2142,86 | tf/cm ² | |
| fyd | 4,35 | tf/cm ² | |
| d | 0,373 | m | |
| Kmd | 0,524 | | |
| Kx | #NÚM! | | |
| Kz | #NÚM! | | |
| x | #NÚM! | m | |
| z | #NÚM! | m | |
| Msd L | 11,97 | tf.m | |
| Msd1 = Msd-Msd L | 13,03 | tf.m | |
| kmd L | 0,251 | | |
| εc1 | 3,5 | ‰ | 0,0035 |
| εyd | 2,07 | ‰ | 0,00207 |
| Es | 2.100,00 | tf/cm ² | |
| Kx L | 0,450 | | |
| Kz L | 0,820 | | |
| x L | 0,168 | m | |
| z L | 0,306 | m | |
| ε's | 0,0024366 | | |
| σ'sd | 4,35 | tf/cm ² | |
| A'si | 9,30 | cm ² | |
| Asi | 18,31 | cm ² | |
| A's | 9,30 | cm ² | |
| As | 18,31 | cm ² | |
| | | | As+A's 3,84 % Ac |
| | 0,5 | 93,410 | 5 93 |
| | 0,63 | 58,681 | 6,3 59 |
| | 0,8 | 36,398 | 8 36 |
| | 1 | 23,323 | 10 23 |
| | 1,25 | 14,921 | 12,5 15 |
| | 1,6 | 9,104 | 16 9 |
| | 2 | 5,827 | 20 6 |
| | 2,2 | 4,817 | 22 5 |
| | 2,5 | 3,730 | 25 4 |
| | 93 | 5 | |
| | 59 | 6,3 | |
| | 36 | 8 | |
| | 23 | 10 | |
| | 15 | 12,5 | |
| | 9 | 16 | |
| | 6 | 20 | |
| | 5 | 22 | |
| | 4 | 25 | |

28

quant As

quant As

| | | | | | |
|---|--------|--------|------|--|-----------|
| 47 | 5 | | | | |
| 30 | 6,3 | | | | |
| 19 | 8 | | | | |
| 12 | 10 | | | | quant A's |
| 8 | 12,5 | | | | |
| 5 | 16 | | | | |
| 3 | 20 | | | | |
| 3 | 22 | | | | |
| 2 | 25 | | | | |
| 0,63 | | | | | |
| 0,63 | Φ 6,3 | 6,000 | 0,63 | | |
| 0,8 | Φ 8 | 9,500 | 0,8 | | espaç Asw |
| 1,0 | Φ 10 | 15,500 | 1,0 | | |
| 1,25 | Φ 12,5 | 24,000 | 1,25 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 47,47432861 | 47 | | | | |
| 29,82361669 | 30 | | | | |
| 18,49894316 | 19 | | | | |
| 11,85346294 | 12 | | | | quant A's |
| 7,583511335 | 8 | | | | |
| 4,627035509 | 5 | | | | |
| 2,961479442 | 3 | | | | |
| 2,448031678 | 3 | | | | |
| 1,895491629 | 2 | | | | |
| | | | | | |
| $\alpha_v = (1 - f_{ck}/250)$ $V_{rd2} = 0,27 \cdot \alpha_v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$ α_v 0,88 V_{rd2} 303,86 KN $V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$ $V_{sw} = V_{rd3} - V_c$ $V_{rd3} = V_{sd}$ 200,00 KN V_{sd} 0,66 V_{rd2} $f_{ct,m}$ 2,90 MPa f_{ctd} 1,45 MPa V_c 51,86 KN V_{sw} 148,14 KN $A_{swi} = V_{sw}/0,9 \cdot f_{yd} \cdot d$ A_{swi} 10,15 cm ² /m $\rho_{sw,min} = 0,2 \cdot f_{ctm}/f_{ywk}$ $A_{sw,min} = \rho_{sw,min} \cdot b_w \cdot s$ $\rho_{sw,min}$ 0,001159 $A_{sw,min}$ 1,85 cm ² /m A_{sw} 10,15 cm ² /m $b_w - 2c - \Phi t$ 9,37 cm | | | | | |

Cláudio Wilson Nóbrega

Graduação (1979) em Engenharia Civil, ênfase em Estruturas, pela UVA. Mestrado (1987) em Engenharia Civil, área de Estruturas, pela UFF. Petrobras. RH/UP/EETM -Rio de Janeiro, RJ - E-mail: cnobrega@petrobras.com.br

Como referenciar este artigo:

NÓBREGA, Cláudio Wilson. Programa para cálculo de armaduras à flexão e ao cisalhamento de vigas de concreto armado: de acordo com a NBR 6118/2014, e análise comparativa dos resultados com os obtidos através do emprego da NBR 6118/2003. **Revista Técnica da Universidade Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 3, p. 19-30, jul. 2016. ISSN: 2359-134X.