

Desenvolvimento de um Programa Computacional para o Cálculo da Armadura Transversal de Vigas de Concreto Armado, conforme a NBR 6118:2014 e o EUROCODE 2:2004

Évelyn Magalhães de Carli¹; Emilia Jarutais Fensterseifer²; Almir Barros da Silva Santos Neto³; Rogério Cattelan Antochaves de Lima⁴; Paulo Cesar Rodrigues⁵

¹ Aluna do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSM - evelynmagal@gmail.com

² Aluna do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFSM - emilia.fenst@gmail.com

³ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, UFSM - almir.neto@ufsm.br

⁴ Professor Doutor, Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, UFSM - rogerio@ufsm.br

⁵ Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/ Curso de Engenharia Civil/ paulo.cr@unijui.edu.br

Resumo

O concreto armado é um material de construção que possui relativamente um baixo custo e, devido a isso, tem sua utilização amplamente difundida em construções em todo o mundo. Desta forma, a elaboração de ferramentas computacionais que possibilitem um dimensionamento mais eficiente e econômico das estruturas em concreto armado, torna-se bastante pertinente. No dimensionamento de vigas é necessário considerar as tensões de cisalhamento, onde a partir da composição das suas resultantes, são obtidas as forças normais de tração e compressão. Para as tensões de compressão que atuam no elemento, o concreto possui boa resistência, sendo então estas, em geral, suportadas pelo mesmo. Já as tensões de tração, quando ultrapassam a resistência do concreto provocam o surgimento de fissuras, e para resistir a estes esforços, é utilizada uma armadura transversal. O presente artigo tem como objetivo o aprimoramento de um programa, desenvolvido na plataforma Matlab, para o dimensionamento de armaduras transversais em vigas de concreto armado. Foram implementados nesta etapa do trabalho o dimensionamento de seções T pela Norma Brasileira NBR 6118 (2014) e também a possibilidade do dimensionamento utilizando a Norma Europeia EUROCODE 2 (2004). São apresentados no trabalho exemplos numéricos resolvidos no intuito de validar o programa desenvolvido.

Palavras-chave

Armadura transversal; Esforço cortante; Concreto armado; NBR 6118:2014; EUROCODE 2:2004.

Introdução

O crescimento populacional, aliado ao processo de urbanização, impulsionou o desenvolvimento do setor da construção civil uma vez que houve o aumento da demanda por construções de edificações e infraestruturas econômicas. O concreto é um material de construção civil que atende a essa demanda. Visto que, possui baixo custo de produção e implementação e, devido a isso, teve sua utilização difundida mundialmente (TAVARES,2019).

De acordo com Mosley et al. (2007), as vigas de concreto armado devem ser dimensionadas de forma adequada, de modo a resistir a forças de cisalhamento, momentos fletores e momentos de torção. Ainda segundo os autores deve-se considerar os requisitos de serviço desses elementos estruturais, a fim de garantir que as vigas de concreto armado satisfaçam estes requisitos.

Diante disso, tendo em vista que as estruturas de concreto armado tornaram-se cada vez mais presentes no setor construtivo, a elaboração de ferramentas computacionais que possibilitem o dimensionamento mais eficiente dessas estruturas é um tema de grande importância e muito abordado em pesquisas pela comunidade científica.

Neste sentido foi desenvolvido em Carli (2018) um programa de cálculo para armadura transversal de vigas de concreto armado. Este programa, por sua vez, considera a Norma Regulamentadora Brasileira

NBR 6118 (ABNT, 2014), abordando os Modelos de cálculo I e II para armadura transversal de vigas de seção retangular.

A partir disso, o presente artigo tem por objetivo o aprimoramento do programa supracitado, a fim de tornar possível o dimensionamento de seções T pela Norma Brasileira NBR 6118 (2014) e também a possibilidade do dimensionamento utilizando a Norma Europeia EUROCODE 2 (2004).

Vigas de concreto armado

De acordo com Lopes et al. (2015) o concreto é composto por cimento, água, agregados graúdos e miúdos, que se apresenta como um material resistente a esforços de compressão, no entanto, por si só, possui baixa resistência à tração.

Uma viga de concreto armado resiste a carregamentos externos primariamente pela mobilização de momentos fletores (M) e forças cortantes (V). De modo geral, no projeto de uma viga de concreto armado, o dimensionamento a flexão e o deslocamento vertical (flecha) determinam as dimensões da seção transversal e a armadura longitudinal.

A resistência apresentada por vigas de concreto armado a esforços cortantes, sofre influência significativa do formato da seção transversal dessas estruturas. Uma vez que, seções transversais retangulares adaptam-se a uma forte inclinação do banzo comprimido, sendo possível absorver toda a força transversal no banzo comprimido (em especial, quando existem cargas distribuídas e concentradas próximas ao apoio) (BASTOS, 2017).

Ainda segundo o mesmo autor, no caso de vigas com seção transversal T, “o banzo comprimido, só pode absorver uma parcela da força cortante, e a maior parte deve ser resistida pelas diagonais comprimidas e pelas barras da armadura transversal” (BASTOS, 2017, p.9).

Armadura transversal

Tendo em vista que as vigas de concreto são submetidas à flexão causada pelo momento fletor, a baixa deformabilidade do concreto, devido a pouca resistência do material à tração, torna necessária a combinação deste com de barras de aço.

Quando dimensiona-se as vigas, é necessário considerar as tensões de cisalhamento, onde a partir da composição das suas resultantes, são obtidas as forças normais de tração e compressão. Dito isso, para as tensões de compressão que atuam no elemento, o concreto possui boa resistência, então estas são suportadas pelo mesmo. Já as tensões de tração, quando ultrapassam a resistência do concreto, o mesmo fatura, e para resistir a estes esforços, é utilizada a armadura transversal.

O dimensionamento, de qualquer estrutura, deve garantir que a mesma suporte a todas as solicitações a que será submetida durante sua execução e utilização, de forma segura e estável, sem deformações.

NBR 6118 (2014)

A NBR 6118 (ABNT, 2014), define os critérios gerais que regem o projeto das estruturas de concreto, sejam elas de edifícios, pontes, obras hidráulicas, portos ou aeroportos, etc. Além disso, a norma determina que “as estruturas de concreto devem atender aos requisitos mínimos de qualidade, durante sua construção e serviço, e aos conjuntos estabelecidos entre o autor do projeto estrutural e o contratante.” (ABNT, 2014, p.17).

Ainda conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), o cálculo da armadura transversal se aplica a elementos lineares sujeitos a esforços cortantes, podendo ser combinados com outros tipos de esforços solicitantes. A partir destas condições de cálculo, foram prescritos dois modelos de cálculo para armaduras transversais de vigas, utilizando uma parte do V_c (força cortante).

O modelo de cálculo I, apresentado na seção 17.4.2.2 da norma, admite diagonais de compressão inclinadas de $\Theta = 45^\circ$ em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural e admite ainda que a parcela complementar V_c tenha valor constante, independente de V_{sd} . (ABNT, 2014).

Já o modelo de cálculo II, apresentado na seção 17.4.2.3, admite diagonais de compressão inclinadas de Θ em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural, com Θ variável livremente entre 30° e 45° . Admite ainda que a parcela complementar V_c sofra redução com o aumento de V_{sd} . (ABNT, 2014).

Ainda conforme a NBR 6118 (2014), quando a estrutura for modelada sem a consideração automática da ação conjunta de lajes e vigas, esse efeito pode ser considerado mediante a adoção de uma largura colaborante da laje associada à viga, compondo uma seção transversal T, que deve ser igualmente dimensionada, considerando os modelos de cálculo I e II da norma.

Eurocode 2 (2004)

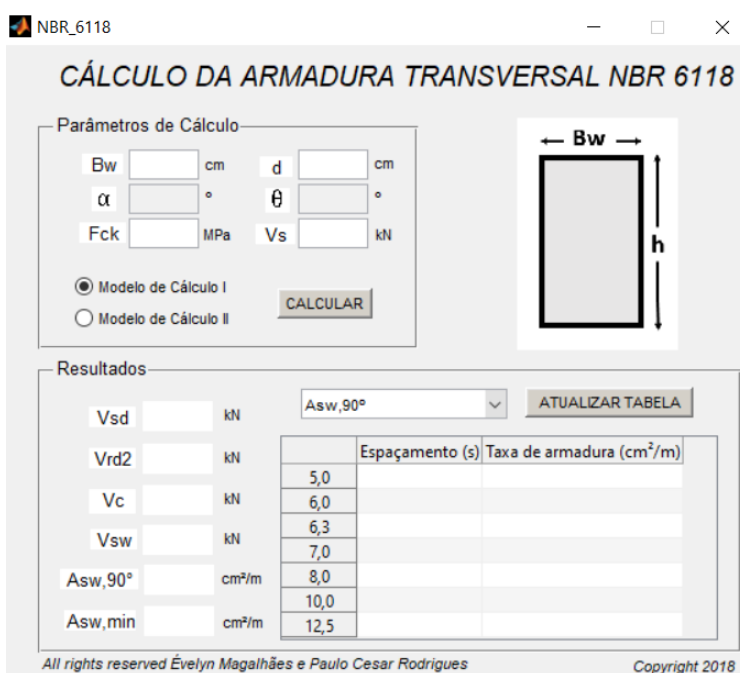
O Eurocode 2 (EN 1992-1-1, 2004) admite diagonais de compressão inclinadas variável entre 45° e 90° em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural, e o ângulo de compressão das diagonais comprimidas Θ variando entre $22,8^\circ$ e 45° .

Metodologia

Para a realização do programa utilizou-se o software Matlab, que é amplamente utilizado no cenário acadêmico e profissional. Algumas de suas funções são solucionar cálculos matemáticos, realizar plotagens gráficas, modelagens matemáticas, simulações e desenvolver programas. Para o desenvolvimento de um programa, o Matlab fornece duas opções: Script e GUI (Graphical User Interface), esta última, utilizada neste trabalho.

Através do GUI é possível criar programas com uma interface gráfica. Desenvolve-se um código, similar a um script, porém com a opção de orientar objetos e desenvolver uma janela, que trabalhará como um plano secundário à interface do programa, no qual podem ser adicionados labels (caixas de texto estáticas), caixas de texto editáveis, botões, imagens, menus de seleção, dentre outros.

O programa existente, foi realizado para calcular a armadura transversal de vigas de seção retangular conforme determina a NBR 6118 (2014). A partir de uma interface intuitiva (ver Figura 1), o usuário informa os parâmetros de cálculo e o programa realiza-os e apresenta na tela. Além disso, implementou-se no programa, uma tabela para a determinação e escolha da melhor bitola a partir da taxa de armadura calculada.



CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL NBR 6118

Parâmetros de Cálculo

Bw cm d cm
 α ° θ °
 Fck MPa Vs kN

Modelo de Cálculo I
 Modelo de Cálculo II **CALCULAR**

Resultados

Vsd kN Asw,90° **ATUALIZAR TABELA**

	Espaçamento (s)	Taxa de armadura (cm ² /m)
	5,0	
	6,0	
	6,3	
	7,0	
	8,0	
	10,0	
	12,5	

All rights reserved Evelyn Magalhães e Paulo Cesar Rodrigues Copyright 2018

Figura 1- Interface do programa para cálculo de armadura transversal de vigas de seção retangulares conforme NBR 6118:2014.

Conforme objetivos deste trabalho foram realizados aprimoramentos no programa, no intuito de tornar viável também o cálculo de armaduras transversais para vigas de seção T, através da NBR 6118 (ABNT, 2014). E também, realizar o cálculo de armaduras transversais de vigas, através da norma europeia Eurocode 2 (2004).

Desta forma, serão apresentadas as novas interfaces e funções adicionadas ao programa nos resultados do presente artigo. Além disso, serão demonstrados os exemplos de cálculo empregados para a calibração do programa.

Resultados e discussão

Foram desenvolvidos quatro códigos independentes. O primeiro código, já existente no programa, refere-se ao cálculo da armadura transversal de vigas de seção retangular conforme a NBR 6118 (2014). Este, por sua vez, passou por melhorias acerca dos resultados apresentados e da tabela de escolha das armaduras, que, anteriormente, apresentava um erro.

O segundo e o terceiro códigos são referentes ao programa para cálculo da armadura transversal de vigas de seção T conforme a NBR 6118 (2014) e ao programa para cálculo da armadura transversal de vigas conforme o Eurocode (2004). Este último, realiza cálculos considerando tanto estribos verticais quanto estribos inclinados.

Com isso, tendo os três códigos independentes, desenvolveu-se o quarto e último, cujo objetivo é compactar todos os programas em um único local. Apresentando assim, uma interface simples, que, ao comando do usuário, apresentará o programa desejado. A Figura 2 apresenta a interface de abertura do programa com o usuário.

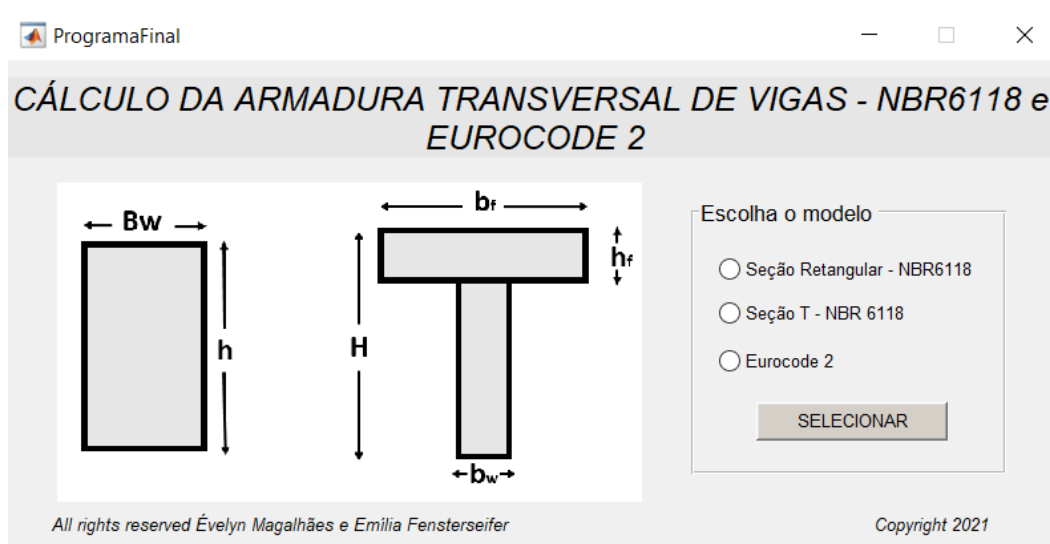


Figura 2- Interface final do programa.

Este programa final não apresenta a união dos três códigos, ele apenas tem a função de buscar no banco de dados o programa desejado, abrir e apresentá-lo ao usuário. Com isso, tem-se a interface dos outros programas desenvolvidos, apresentadas nas Figuras 3 e 4, e também, a interface atualizada do programa inicial existente, apresentada na Figura 5.



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

NBR_6118_T

CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL DE VIGAS - NBR 6118 - SEÇÃO T

Parâmetros de Cálculo

bf cm hf cm
 bw cm H cm
 d cm Vs kN
 Fck MPa Fyk MPa
 c cm

Resultados

Vsd kN Asw,90°

Vrd2 kN

Vsd,min kN

Asw,90° cm²/m

Asw,min cm²/m

semáx cm

stmáx cm

Espaçamento (s)	Taxa de armadura (cm ² /m)
4,2	
5,0	
6,3	
8,0	
10,0	
12,5	

All rights reserved Évelyn Magalhães e Emilia Fensterseifer Copyright 2021

Figura 3- Interface do programa de cálculo da armadura transversal de vigas de seção T, conforme NBR 6118:2014.

EurocodeCorreto

CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL DE VIGAS - EUROCODE 2

Parâmetros de Cálculo

bw cm d cm
 Ved cm fck MPa
 fyk MPa α °
 θ ° Estribos verticais
 Estribos inclinados

Resultados

Estribos verticais Estribos verticais

Vrd,máx kN Vrd,máx kN
 Asw kN Asw kN
 Asw,min kN Asw,min kN

Asw vertical

Espaçamento (s)	Taxa de armadura (cm ² /m)
5,0	
6,0	
6,3	
7,0	
8,0	
10,0	
12,5	

All rights reserved Évelyn Magalhães e Emilia Fensterseifer Copyright 2021

Figura 4- Interface do programa de cálculo de armadura transversal de vigas, conforme o Eurocode 2: 2004.



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

NBR_6118

CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL DE VIGAS - NBR 6118 - SEÇÃO RETANGULAR

Parâmetros de Cálculo

Bw cm d cm
 α ° θ °
 Fck MPa Vs kN

Modelo de Cálculo I
 Modelo de Cálculo II

CALCULAR

Resultados

Vsd kN A_{sw,90°} ° ATUALIZAR TABELA

Vrd2 kN

Vc kN

Vsw kN

A_{sw,90°} cm²/m

A_{sw,min} cm²/m

smáx cm

Espaçamento (s)	Taxa de armadura (cm ² /m)
5,0	
6,0	
6,3	
7,0	
8,0	
10,0	
12,5	

All rights reserved Evelyn Magalhães e Paulo Cesar Rodrigues Copyright 2021

Figura 5- Interface atualizada do programa de cálculo da armadura transversal de vigas de seção retangular conforme NBR 6118:2014

Para a validação do programa desenvolvido, foram calculados exemplos numéricos com dados encontrados na literatura, sendo então comparados com os resultados obtidos pelos outros autores.

Na Figura 6 a seguir, tem-se a tela do programa de cálculo de seção retangular com o Exemplo 2 de Carvalho (2014, p. 297), onde são dados: bw=70 cm; d=200 cm; fck=26 MPa; Aço CA-50; e Vs,máx=1300 kN.

NBR_6118

CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL DE VIGAS - NBR 6118 - SEÇÃO RETANGULAR

Parâmetros de Cálculo

Bw cm d cm
 α ° θ °
 Fck MPa Vs kN

Modelo de Cálculo I
 Modelo de Cálculo II

CALCULAR

Resultados

Vsd kN A_{sw,90°} ° ATUALIZAR TABELA

Vrd2 kN

Vc kN

Vsw kN

A_{sw,90°} cm²/m

A_{sw,min} cm²/m

smáx cm

Espaçamento (s)	Taxa de armadura (cm ² /m)	
5,0	30	1.3300
6,0	30	1.8800
6,3	30	2.1000
7,0	30	2.5600
8,0	30	3.3300
10,0	30	5.3300
12,5	30	8.3300

All rights reserved Evelyn Magalhães e Paulo Cesar Rodrigues Copyright 2021

Figura 6- Programa de seção retangular pela NBR 6118 (2014), exemplo de Carvalho (2014).

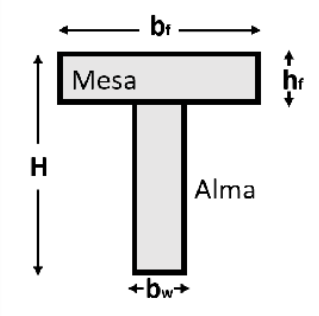
Conforme Carvalho (2014), os resultados para este exemplo são: $V_{sd}=1820$ kN; $V_{Rd2}=6289,9$ kN; $V_c=1108,8$ kN; $V_{sw}=711,2$ kN; e $s_{m\acute{a}x}=27,5$ cm, o que corrobora com os resultados encontrados na tela da Figura 8.

Para o validar o programa de seção T (Figura 7) conforme a NBR 6118 (2014), utilizou-se o Exemplo 4 de Bastos (2017, p. 69), com dados: C30; $c=2,5$ cm; estribo vertical (90°); CA-50; $d=113$ cm; $\gamma_c = \gamma_f = 1,4$; $\gamma_s = 1,15$; $b_f = 240$ cm; $b_w = 40$ cm; $h = 120$ cm; $h_f = 15$ cm; e $V_{s,m\acute{a}x} = 550$ kN.

CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL DE VIGAS - NBR 6118 - SEÇÃO T

Parâmetros de Cálculo

bf	240	cm	hf	15	cm
bw	40	cm	H	120	cm
d	113	cm	Vs	550	kN
Fck	30	MPa	Fyk	50	MPa
c	2.5	cm	<input type="button" value="CALCULAR"/>		



Resultados

Vsd	770	kN	Asw,90°	
Vrd2	2305.2	kN	<input type="button" value="ATUALIZAR TABELA"/>	
Vsd,min	596.64	kN		
Asw,90°	8.57611	cm²/m		
Asw,min	4.63435	cm²/m		
semáx	30	cm		
stmáx	35	cm		

	Espaçamento (s)	Taxa de armadura (cm²/m)
	4,2	0
	5,0	0
	6,3	0
	8,0	5.5000
	10,0	9
	12,5	14

All rights reserved Evelyn Magalhães e Emília Fensterseifer Copyright 2021

Figura 7- Programa de seção T pela NBR 6118 (2014), exemplo

Os resultados encontrados no exemplo de Bastos (2017) são: $V_{sd}=770$ kN; $V_{Rd2}=2.305$ kN; $asw,90^\circ=8,58$ cm²/m; e $asw,min=4,63$ cm²/m, corroborando com os resultados encontrados na tela da Figura 9.

Por fim, para o programa de cálculo considerando o Eurocode 2 (2004), foi utilizado um exemplo de Nunes (2012, p. 64), com dados: C25; CA-50; $b_w=20$ cm; $d=144$ cm; $V_{s,m\acute{a}x}=718,20$ kN; $\alpha=90^\circ$; e $\Theta=45^\circ$. A validação deste programa foi igualmente satisfeita, e é possível comparar os resultados encontrados na tela da Figura 8, apresentada em Nunes (2012), que são: $V_{Rdm\acute{a}x}=1.225$ kN; $asw=11,82$ cm²/m; e $asw,min=1,60$ cm²/m.

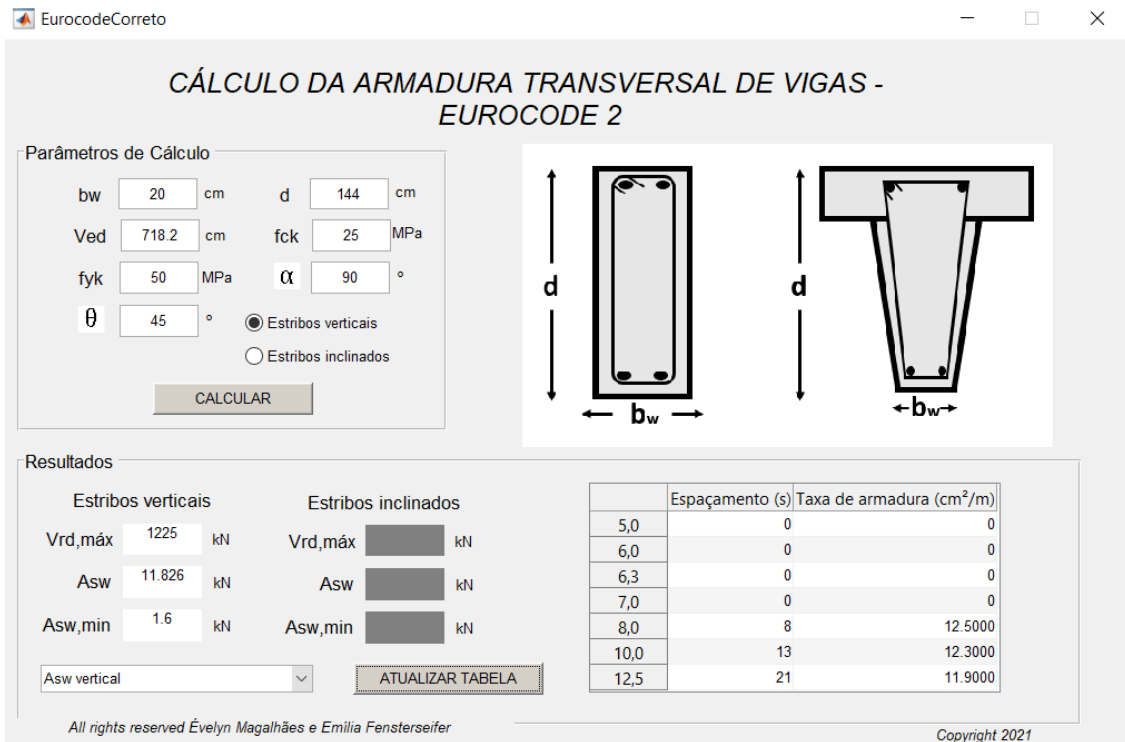


Figura 8- Programa do Eurocode 2 (2004), exemplo

Conforme pode-se observar nas figuras anteriores, alguns valores das tabelas são nulos. Isto ocorre pois o programa adota um valor igual ou superior para a taxa de armadura calculada e apresenta, juntamente com seu respectivo espaçamento. Porém, em alguns casos de bitolas, as taxas de armadura existentes na tabela são menores que o calculado, desta forma tem-se como resultado, o valor zero.

Caso o dimensionamento não satisfaça a condição de esforço cortante ($V_{Sd} \leq V_{Rd2}$), ocorre o esmagamento nas bielas de compressão. Desta forma, o programa apresenta uma mensagem de erro (ver Figura 9), induzindo o usuário a redimensionar a seção transversal da viga, alterando as dimensões de base e altura, para que a viga suporte os esforços.

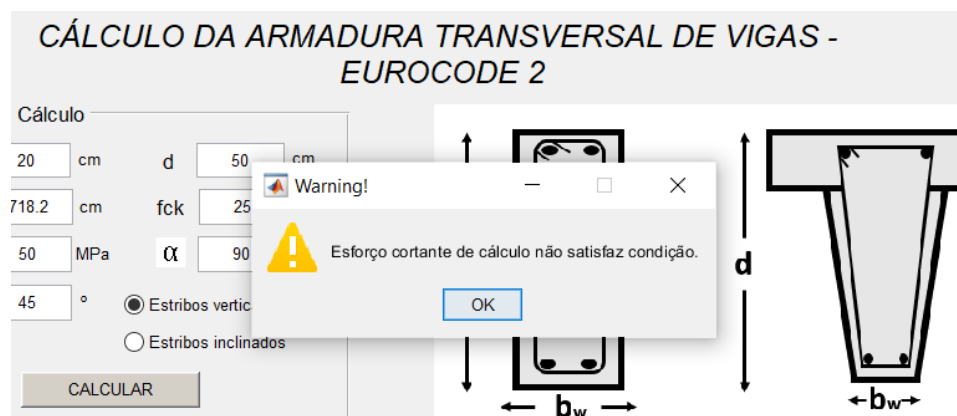


Figura 9- Programa do Eurocode 2 (2004), mensagem de erro, exemplo



Conclusões

Por meio do presente trabalho, tornou-se viável aprimorar o programa de cálculo da armadura transversal de vigas de seção retangular conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Com isso, foram realizadas as alterações necessárias, resolvidos os problemas existentes, e então, acrescentadas as funções propostas.

A partir desse aprimoramento, foi possível obter um programa com a capacidade de realizar o dimensionamento de seções T pela Norma Brasileira NBR 6118 (2014) e, também, a possibilidade do dimensionamento utilizando a Norma Europeia EUROCODE 2 (2004).

Com base nos exemplos realizados para a validação desta ferramenta, é possível concluir que o programa foi corretamente desenvolvido e atendeu todos os objetivos. Posteriormente, será feito um estudo mais detalhado, para determinar por meio do programa desenvolvido, o dimensionamento ao esforço cortante de seções de concreto armado considerando as duas normalizações, os diferentes modelos e inclinação da biela de compressão.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BASTOS, P. S. d. S. Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante: notas de aula. 2017. 79 p. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Bauru, 2017.
- CARLI, É. M. de. ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE CÁLCULO DA NBR 6118/2014 PARA DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA TRANSVERSAL DE CONCRETO ARMADO. 2018. 79 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Unijuí, Ijuí, 2018.
- CARVALHO, Roberto Chust; FILHO, Jasson Rodrigues de Figueiredo. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto armado. v. 1, 4ª. Ed., São Carlos: UFSCar, 2014.
- EN 1992-1-1 (2004) (English): Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC].
- LOPES, P. H. P.; COLARES, L. L. B.; SANTOS, W. J. dos.; RIBEIRO, S. E. C. NBR 6118 E EUROCODE 2: ANÁLISE COMPARATIVA NO DIMENSIONAMENTO DE LAJES E VIGAS EM CONCRETO ARMADO. Revista Construindo, v. 7, 2015. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/4014>. Acesso em: 20 jan. 2021.
- MOSLEY, W. H.; BUNGEY, J. H.; HULSE, R. Reinforced Concrete Design to Eurocode 2. 6ª ed. Palgrave, Londres, 2007.
- NUNES, Mateus Dalvi. Dimensionamento de uma viga de concreto armado ao esforço cortante segundo NBR 6118:2007, EUROCODE 1992-1-1 2010 e FIB MODEL CODE 2010. 2012. 100p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
- RODRIGUES, Paulo Cesar. Estruturas de Concreto Armado I - 6º Ed. Ijuí: UNIJUÍ, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2017.
- TAVARES, G. P. Análise Exergética e Estudo da Formação de Poluentes em Fábricas de Cimento. 2019. 160p. Dissertação (Mestrado em Térmica, Fluidos e Máquinas de Fluxo) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.