



# Aplicativo Android para Verificação e Dimensionamento de Elementos de Aço sob Força Axial

Rodrigo D. Filgueiras<sup>1</sup>, Eduardo M. F. Rêgo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estruturas/Centro de Tecnologia - Universidade Federal do Piauí (UFPI) – Teresina – PI – Brasil

rxdrygu@gmail.com, e\_eduardofontes@ufpi.edu.br

**Abstract.** *Due to the wide use and practicality of smartphones, it was thought to develop an Android application, called SteelApp NBR8800, for verification of steel structural members, under axial tensile and compression force, consisting of W, U, Angle and Double Angle profiles, based on NBR 8800 (ABNT, 2008). For the tool development Java program language and the Android Studio software was used, which is available on Google. SteelApp NBR8800 performs the most important steps of the calculation routine, verifies that the chosen steel profile resists the applied load and provides the optimized section. SteelApp NBR8800, a simple and practical tool, provides results with excellent reliability.*

**Resumo.** *Devido ao amplo uso e praticidade dos smartphones, foi desenvolvido um aplicativo Android, chamado SteelApp NBR8800, para verificação de elementos de aço sob força axial de tração e compressão, constituídos por perfis do tipo W, U, cantoneira e dupla cantoneira, tendo como base de cálculo a NBR 8800 (ABNT, 2008). Para a elaboração da ferramenta utilizou-se a linguagem de programação Java e o programa Android Studio, disponibilizado pela Google. A partir das variáveis informadas pelo usuário, o SteelApp NBR8800 verifica se o perfil de aço escolhido resiste ao esforço solicitante e informa a seção otimizada de menor massa. O aplicativo apresenta resultados com excelente confiabilidade.*

## 1. Introdução

Parte das estruturas são constituídas por barras prismáticas tais como, barras de treliças, tirantes e pilares, cujas seções geométricas devem resistir aos esforços solicitantes.

A verificação e dimensionamento de elementos do tipo barra prismática de aço sob esforço axial de tração e compressão baseia-se na NBR 8800 (ABNT, 2008) - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. A realização do cálculo pode ser automatizada e apresentada em forma de *software* para computador como, por exemplo, o Metálicas 3D, Visual Metal 1.5 e Viga Mista 3.0.

Alternativas de cálculo surgem com a utilização de aplicativos para *smartphones*, sobretudo por meio do sistema operacional Android, utilizado por 94,9% dos brasileiros (KANTAR, 2019): multitarefa, com código aberto e compatibilidade em vários aparelhos de marcas distintas. Os aplicativos gratuitos disponíveis na Google Play como PS-NBR8800, Flexão Composta – NBR8800:2008 e RSteelFree realizam o dimensionamento de barras de aço sob força axial, porém não reúnem características como verificação de cisalhamento de bloco, otimização do perfil comercial e a possibilidade da criação de variados tipos de perfis pelo usuário.



Considerando a crescente utilização de estruturas de aço na modernidade e a popularização de *smartphones*, pensou-se na implementação de um aplicativo Android, chamado SteelApp NBR8800, pela necessidade de analisar elementos de aço submetidos a esforço axial de tração e compressão conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008) sem a obrigatoriedade do uso de *softwares* de computadores, cujas dimensões limitam a usabilidade, assim como englobar mais funções em relação aos aplicativos existentes, gerando-se mais praticidade e rapidez.

Os resultados do SteelApp NBR8800, aplicativo criado no ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do Android Studio, utilizando a linguagem de programação Java, são comparados e validados por meio da literatura existente.

A ferramenta, gratuita, destina-se aos estudantes de engenharia civil como também aos profissionais da área que lidam com situações práticas de dimensionamento.

Nos próximos itens são mostradas as ferramentas utilizadas para desenvolvimento do aplicativo SteelApp NBR8800, as equações para dimensionamento de elementos de aço tracionados e comprimidos, a interface e validação do SteelApp NBR8800 por meio de comparação com a literatura existente e, ao final, são apresentadas as conclusões relativas ao aplicativo.

## 2. Ferramentas utilizadas e especificações de cálculo

Neste item apresenta-se a linguagem de programação Java, o sistema operacional Android, a plataforma de desenvolvimento Android Studio e as prescrições para o cálculo de elementos de aço sob força axial segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008).

### 2.1. Linguagem de programação Java

Java é a linguagem de programação orientada a objetos, desenvolvida pela Sun Microsystems, capaz de criar aplicativos para *desktop* e para a *web*. Além disso, caracteriza-se por ser muito parecida com a linguagem de programação C++, eliminando as características consideradas complexas, dentre as quais ponteiros e herança múltipla (Claro e Sobral, 2008).

Ao surgir nos anos 1990, a linguagem Java introduziu na *web* a possibilidade de integrar verdadeira interatividade em páginas WWW (World Wide Web) (Coelho, 2016). As pequenas aplicações Java, denominadas *applets*, podiam ser diretamente integradas no código HTML das páginas e, assim, tornar acessível a uma página WWW tudo aquilo que usualmente se conseguia obter através de um programa, desenvolvido em qualquer outra linguagem de programação. Ademais, Java fornece uma série de mecanismos para garantir a segurança dos aplicativos (Claro e Sobral, 2008).

Um programa em Java não tem contato com o computador real, conhece apenas a máquina virtual (JVM). A máquina virtual decide o que pode ou não ser feito. Um programa Java nunca acessa dispositivos de entrada e saída, sistema de arquivos ou memória, ao invés disso solicita à JVM que acesse. Assim, o Java pode ser executado em qualquer arquitetura de *hardware* e sistema operacional, sem precisar ser recompilado. Um programa Java pode ser executado em qualquer plataforma que possua um interpretador Java como ambiente de execução (Claro e Sobral, 2008).



## 2.2. Sistema operacional Android

A plataforma Android é utilizada pela Open Handset Alliance (OHA), que é uma aliança de diversas empresas com a intenção de criar padrões abertos para telefonia móvel (Cardoso, 2012). Entre as empresas participantes da aliança estão HTC, Dell, Intel, Google, Motorola, Qualcomm, Texas Instruments, LG, T-Mobile, Samsung e Nvidia. A partir dessa aliança foi criado o Android Studio, sendo uma das principais aplicações para a criação de aplicativos.

Uma das vantagens de desenvolver aplicativos para o Android é que as ferramentas e programas necessários são gratuitos e disponíveis para todos os sistemas operacionais (OS X, Windows™ e Linux). Para o desenvolvimento existem emuladores. Isto facilita a programação e, mesmo não tendo um equipamento em Android, é possível desenvolver ferramentas que posteriormente podem ser utilizadas em *smartphones* e *tablets* (Freitas e Candeias, 2014).

## 2.3. Android Studio

O Android Studio foi lançado pela Google para o desenvolvimento de aplicativos para o sistema operacional Android. É um editor de código com muitos recursos, capaz de permitir o desenvolvimento de um *app* Android de forma mais produtiva. Quando se inicia um novo projeto no Android Studio, a estrutura do projeto aparece com praticamente todos os arquivos dentro do diretório SDK ou Kit de Desenvolvimento de Software (Riffel, 2016).

O Android Studio possui, pré-configurado, uma imagem otimizada de um emulador para testes dos aplicativos, o qual simula um dispositivo real e facilita a realização de testes e a execução do aplicativo desenvolvido. Apresenta também o Virtual Device Manager atualizado, otimizado e aspectos pré-definidos, ou seja, utiliza um sistema de arrastar e soltar para mover os componentes por toda a interface do aplicativo (Google, 2019).

De acordo com Carvalho (2013), o Android Studio possui uma interface mais atraente e engloba várias características encontradas em outros ambientes de desenvolvimento, como a possibilidade de customizar os atalhos de teclado e o recurso do autocomplete. Além disso, o Android Studio recebe atualizações e melhorias constantemente, facilitando o trabalho dos desenvolvedores a cada versão lançada.

## 2.4. Elementos de aço sob tração simples

A condição de segurança para elementos de aço tracionados, em função do estado limite último, é definida pela Equação 1:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd} \quad (1)$$

onde  $N_{t,Sd}$  é a força axial de tração solicitante de cálculo e  $N_{t,Rd}$  é a força axial de tração resistente de cálculo.

A força axial de tração resistente de cálculo,  $N_{t,Rd}$ , a ser usada no dimensionamento, é o menor dos valores obtidos considerando-se os estados limites últimos de:

Escoamento da seção bruta, dado pela Equação 2:



$$N_{t,Rd} = \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

Ruptura da seção líquida, dado pela Equação 3:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e \cdot f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3)$$

em que  $A_g$  é a área bruta da seção transversal da barra,  $A_e$  é a área líquida efetiva da seção transversal da barra,  $f_y$  é a resistência ao escoamento do aço,  $f_u$  é a resistência à ruptura do aço,  $\gamma_{a1}$  e  $\gamma_{a2}$  são os coeficientes de ponderação das resistências para escoamento e ruptura, respectivamente.

A NBR 8800 (ABNT, 2008) recomenda que o índice de esbeltez máximo, igual a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente ( $L/r$ ), excetuando-se elementos pré-tensionados, não seja maior que 300.

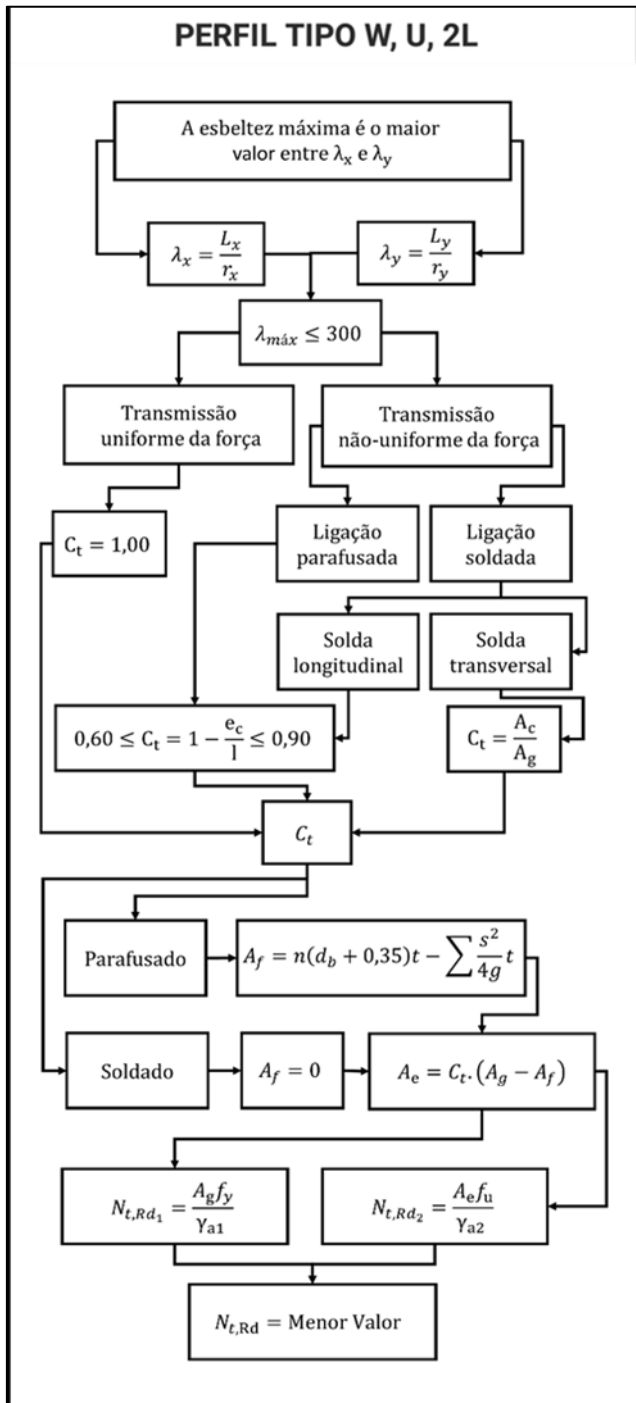
Na Figura 1 apresenta-se um dos fluxogramas utilizados na elaboração do código computacional em Java para a verificação de elementos de aço tracionados, que está disponível no aplicativo. Inicialmente verifica-se o índice de esbeltez do perfil nos dois eixos,  $\lambda_x$  e  $\lambda_y$ , em seguida faz-se o cálculo da redução da área bruta por meio do coeficiente de redução  $C_t$ , que depende da distribuição de tensões, da excentricidade  $e_c$ , do comprimento da ligação  $l$  e tipo de ligação, parafusada ou soldada. O próximo passo é calcular a área efetiva  $A_e$  que depende da área bruta  $A_g$ , da área de furos  $A_f$ , se ligação parafusada, ou da área conectada  $A_c$ , se ligação soldada. Obtém-se a área de furos a partir do número  $n$  e diâmetro  $d_b$  de parafusos. Considera-se o tamanho do furo igual ao diâmetro do parafuso  $d_b$  mais 3,5 mm. Caso os parafusos não estejam alinhados, deve-se utilizar a distância entre conectores no sentido da carga  $s$  e perpendicular a ela  $g$ . Realizado os passos anteriores, calcula-se a resistência à tração como o menor valor entre escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida.

No caso de perfis de chapas finas tracionadas e ligadas por conectores, segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), na região da ligação deve-se ser verificado, além da ruptura da seção líquida, o colapso por rasgamento ou cisalhamento de bloco, onde a ruptura da área tracionada pode estar acompanhada da ruptura ou do escoamento das áreas cisalhadas. Dessa forma, a resistência é calculada pela Equação 4:

$$N_{t,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_u A_{nv} + C_{ts} f_u A_{nt}) \leq \frac{1}{\gamma_{a2}} (0,60 f_y A_{gv} + C_{ts} f_u A_{nt}) \quad (4)$$

onde  $A_{gv}$  é a área bruta sujeita a cisalhamento,  $A_{nv}$  é a área líquida sujeita a cisalhamento,  $A_{nt}$  é a área líquida sujeita à tração,  $C_{ts}$  é igual a 1,0 quando a tensão de tração na área líquida for uniforme e igual a 0,5 quando for não uniforme.

Para esta verificação necessita-se de dados detalhados como distância entre conectores e entre conector e borda do perfil, assim, para efeito de praticidade, a ferramenta de cálculo do colapso por rasgamento é opcional no aplicativo.



- $A_c$  - área conectada
- $A_e$  - área efetiva
- $A_f$  - área de furos
- $A_g$  - área bruta
- $C_t$  - coeficiente de redução
- $L_x$  e  $L_y$  - comprimento destravado do perfil nos eixos x e y, respectivamente
- $N_{t,Rd}$  - resistência à tração
- $\lambda_{m\acute{a}x}$  - índice de esbeltez máxima
- $d_b$  - diâmetro do parafuso
- $e_c$  - excentricidade
- $f_y$  - é a resistência ao escoamento do aço
- $f_u$  - resistência à ruptura do aço
- $g$  - distância entre conectores no sentido perpendicular à carga
- $l$  - comprimento da ligação
- $n$  - número de parafusos
- $r_x$  e  $r_y$  - raio de giração do perfil nos eixos x e y, respectivamente
- $s$  - distância entre conectores no sentido da carga
- $t$  - espessura do elemento tracionado
- $\gamma_{a1}$  e  $\gamma_{a2}$  - coeficientes de ponderação das resistências para escoamento e ruptura, respectivamente
- $\lambda_x$  e  $\lambda_y$  - índice de esbeltez do perfil nos eixos x e y, respectivamente

Figura 1. Fluxograma para o cálculo de elemento tracionado do tipo W, U ou 2L

## 2.5. Elementos de aço sob compressão axial

A condição de segurança para elementos de aço sob compressão axial, em função do estado limite último, é definida pela Equação 5:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (5)$$



onde  $N_{c,sd}$  é a força axial de compressão solicitante de cálculo e  $N_{c,Rd}$  é a força axial de compressão resistente de cálculo.

A força axial de compressão resistente de cálculo,  $N_{c,Rd}$ , de uma barra, associada aos estados limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela Equação 6:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (6)$$

onde  $\chi$  é o fator de redução associado à resistência à compressão e  $Q$  é o fator de redução total associado à flambagem local, cujo valor deve ser obtido conforme o Anexo F da NBR 8800 (ABNT, 2008).

O fator de redução associado à resistência à compressão,  $\chi$ , é obtido conforme Equação 7,

$$\lambda_0 = \begin{cases} \leq 1,5, & \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \\ > 1,5, & \chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2} \end{cases} \quad (7)$$

sendo o índice de esbeltez reduzido,  $\lambda_0$ , calculado pela Equação 8,

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}} \quad (8)$$

onde  $N_e$  é a força axial de flambagem elástica, conforme Anexo E da NBR 8800 (ABNT, 2008).

Assim como no item 2.4, elaborou-se fluxogramas utilizados na elaboração do código em Java para a verificação de elementos de aço comprimidos. O primeiro passo é determinar a menor força axial de flambagem elástica  $N_e$ , a partir do qual é possível determinar a esbeltez máxima  $\lambda_{máx}$ , que não deve ser maior que 200 (NBR 8800 ABNT, 2008). O processo continua com a verificação da flambagem local de alma  $Q_a$  e de mesa  $Q_s$ , que dependem da relação largura e espessura  $b/t$ , do módulo de elasticidade  $E$ , tensão de escoamento do aço e se o perfil é laminado ou soldado, este sendo caracterizado por  $k_c$ . Na existência de flambagem local o valor de  $Q$ , produto de  $Q_a$  e  $Q_s$ , é menor que 1, caso não haja,  $Q$  é igual a 1. Por último faz-se o cálculo do índice de esbeltez reduzido  $\lambda_0 = \sqrt{Q A_g / f_y N_e}$ , determina-se  $\chi$  e então calcula-se resistência à compressão.

### 3. Interface e validação de resultados do SteelApp NBR8800

O aplicativo recebeu o nome de SteelApp NBR8800, sendo constituído pela interface inicial mostrada na Figura 2, cuja verificação e dimensionamento engloba os perfis W, U, L e 2L. Primeiramente, na interface do *smartphone*, visualiza-se o símbolo do aplicativo que, ao ser clicado, surgem as opções de tipos de solicitações e imagem da seção desejada. Escolhida a seção, abre-se a interface de cálculo. Além disso, no canto



superior direito há um menu que acessa informações sobre o aplicativo e algumas notações utilizadas.

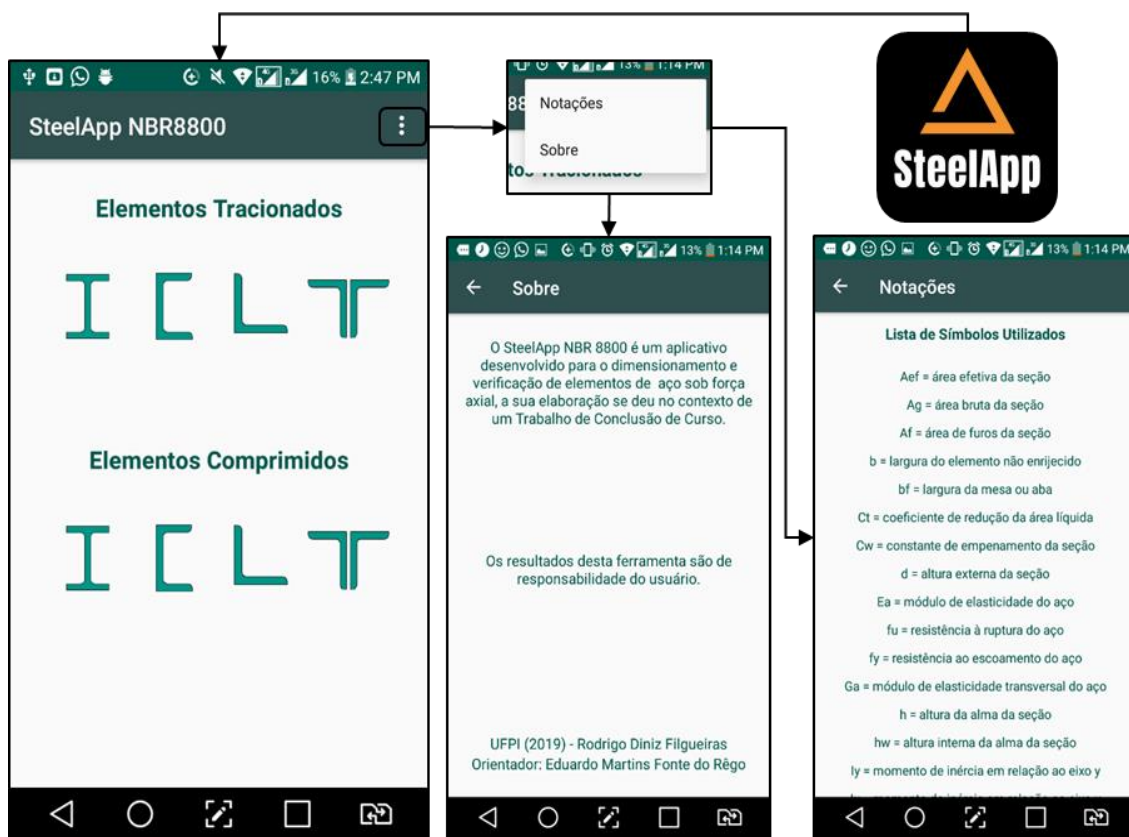


Figura 2. Interface inicial do SteelApp NBR8800

Na Figura 3 mostra-se a interface, que é semelhante para todas as seções disponíveis no SteelApp NBR8800, de dois exemplos resolvidos. A Figura 3a refere-se ao perfil soldado CS150x25 submetido à força axial de compressão de 500 kN; a Figura 3b é um exemplo adaptado de Pfeil e Pfeil (2009) para um perfil C350x50,4 submetido à força axial de tração de 1000 kN. Para elementos tracionados e comprimidos pode-se inserir dados de um perfil não cadastrado em “PROPRIEDADES DO PERFIL”; nos resultados apresenta-se o perfil otimizado, dado em “Perfil econômico”, ou seja, o perfil cadastrado mais leve que resiste ao esforço solicitante.

No exemplo mostrado na Figura 3b os furos são considerados alinhados em relação à linha de ruptura. Caso fossem enviesados, o usuário teria que clicar no *switch* “Calcular somatório  $\Sigma z$ ?” e preencher as informações de espaçamento no sentido e perpendicular à ação axial de tração, respectivamente *s* e *g*. Nos elementos tracionados a verificação para cisalhamento de bloco pode ser feita, caso necessário, clicando no *switch*: “Verificar cisalhamento de bloco?”.

O SteelApp NBR8800 não verifica detalhes construtivos relativos à ligação, tais como espaçamento entre furos, entre furo e borda, espaçamento mínimo e espaçamento máximo.



**Perfil W: Compressão**

Perfil Soldado..  
CS150x25  
E (MPa)= 200000  
Ga (MPa)= 77000  
fy (MPa)= 345  
Nc, Sd (kN)= 500

**PROPRIEDADES DO PERFIL**

d (mm)= 150.0  
h (mm)= 134.0  
tw (mm)= 6.3  
bf (mm)= 150.0  
tf (mm)= 8.0  
Ag (cm²)= 32.4

$r_x$  (cm)= 6.42  
 $r_y$  (cm)= 3.73  
 $I_x$  (cm⁴)= 1337  
 $I_y$  (cm⁴)= 450  
J (cm⁴)= 6.0  
Cw (cm⁶)= 22685

**ESBELTEZ**

Eixo X:  $K_x L_x$  (cm)= 600  
Eixo Y:  $K_y L_y$  (cm)= 300  
Eixo Z:  $K_z L_z$  (cm)= 420

Ne (kN)= 733.1 Eixo X crítico!  
 $\lambda_{máx}$ = 93.4  $\lambda_{máx} \leq 200$

**VERIFICAR**  
Perfil OK!

**FLAMBAGEM LOCAL**

Mesas  
 $b/t$ = 9.38  $b/t \leq 13.43$   
Qs = 1.00 Não ocorre FLM

Alma  
 $b/t$ = 21.27  $b/t \leq 35.87$   
Qa = 1.00 Não ocorre FLA

**CALCULAR**  
Q = Qs.Qa = 1.00  $\chi$  = 0.53

**RESISTÊNCIA**  
Nc, Rd (kN)= 536.80  
O perfil resiste ao esforço solicitante! Perfil econômico: CS150x25

**Perfil U: Tração**

Perfil Laminado  
C380X50,4  
Af (cm²)= 10.40  
Ct = 0.73  
fy (MPa)= 250  
fu (MPa)= 400  
Nt, Sd (kN)= 1000

**PROPRIEDADES DO PERFIL**

d (mm)= 381.0  
hw (mm)= 348.0  
tw (mm)= 10.2  
bf (mm)= 86.4  
tf (mm)= 16.5

Ag (cm²)= 64.5  
 $r_x$  (cm)= 14.2  
 $r_y$  (cm)= 2.29  
 $I_x$  (cm⁴)= 13100  
 $I_y$  (cm⁴)= 336.0

**ESBELTEZ**  
Lx (cm)= 400 Ly (cm)= 150  
 $\lambda_x$  = 28.17 Eixo X: Ok!  
 $\lambda_y$  = 65.50 Eixo Y: Ok!

**VERIFICAR**  
Esbeltez menor ou igual a 300, perfil OK!

**RESISTÊNCIA**  
Nt, Rd (kN)= 1170.16

**CALCULAR**  
O perfil resiste ao esforço solicitante! Perfil econômico: C310X45

**CISALHAMENTO DE BLOCO**

$N_{t,Rd} = \frac{1}{\gamma_{M2}} (0.60 f_u A_{nv} + C_{12} f_u A_{nt}) \leq \frac{1}{\gamma_{M2}} (0.60 f_u A_{nv} + C_{12} f_u A_{nt})$

Agv (cm²)= 30.60 Anv (cm²)= 22.80  
Ant (cm²)= 18.21 Cts = 1.0

Nt, Rd (kN)= 879.56  
Perfil não passou na verificação de cisalhamento!

**Perfil U: Tração**

**CÁLCULO DE Af**

n = 4 db (mm)= 22  
t (mm)= 10.2  $\Sigma z$  (mm)= 0.0

Calcular somatório  $\Sigma z$  ?

$A_f = n(d_b + 0.35cm)t - \sum \frac{s^2}{4g} t$

Calcular  
Af (cm²)= 10.40  
Exportar Valor

n = número de parafusos da linha de ruptura.  
db = diâmetro nominal do parafuso.  
t = espessura da parede.  
 $\Sigma z = 0$  para linhas de ruptura verticais e  $\Sigma(s^2/4g)$  para linhas diagonais.

**Perfil U: Tração**

**CÁLCULO DE Ct**

Transmissão não-uniforme da força  
Ligação Parafusada

ec (mm)= 20 l (mm)= 75

$0.60 \leq C_t = 1 - \frac{e_c}{l} \leq 0.90$

Calcular  
Ct = 0.73  
Exportar Valor

l = comprimento entre o primeiro e o último parafuso da ligação.  
ec = excentricidade da ligação parafusada.

Figura 3. Exemplos resolvidos no SteelApp NBR8800

### 3.1. Validação e análise do SteelApp NBR8800

Em relação à validação do cálculo de elementos tracionados, na Tabela 1 são apresentados alguns resultados obtidos no SteelApp NBR8800 para elementos tracionados: EXEMPLO 1, elaborado pelos autores para análise do aplicativo, cuja resolução é mostrada no item 3.2; EXEMPLO 2, solucionado por Pfeil e Pfeil (2009), no qual não se verificou a esbeltez; e os EXEMPLOS 3 e 4 calculados por meio do software MetalCalc Prototype (Suzuki, 2014). Pode-se observar que o máximo erro



ocorrido, calculado conforme Equação 9, é de 0,09%. Esta diferença é decorrente das aproximações utilizadas, demonstrando que o aplicativo é preciso para esse tipo de esforço.

$$Erro(\%) = \left| \frac{SteelApp\ NBR8800}{Cálculo\ Manual} - 1 \right| \times 100 \quad (9)$$

**Tabela 1. Comparação dos resultados para elementos tracionados**

<b>EXEMPLO 1 (ELABORADO) – PERFIL CS 300x62</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$\lambda_x$	30,67	30,67	0,00
$\lambda_y$	27,29	27,29	0,00
$N_{t,Rd}$	1648,89	1648,49	0,00
<b>EXEMPLO 2 – PERFIL C 380x50,4</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$\lambda_x$	-	-	0,00
$\lambda_y$	-	-	0,00
$N_{t,Rd}$	1169	1170	0,09
<b>EXEMPLO 3 - CANTONEIRA SIMPLES L 76,2x4,8</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$\lambda_{máx}$	200,00	200,00	0,00
$N_{t,Rd}$	159,77	159,77	0,00
<b>EXEMPLO 4 - CANTONEIRA DUPLA 2L 101,6x6,4</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$\lambda_x$	275,18	275,18	0,00
$\lambda_y$	201,60	201,60	0,00
$N_{t,Rd}$	181,82	181,82	0,00

Na Tabela 2 são apresentados alguns resultados para elementos comprimidos obtidos no SteelApp NBR8800 e comparados com os EXEMPLOS 5, 7 e 8 de Fakury *et al.* (2016) e com um exemplo elaborado pelos autores, EXEMPLO 6, no qual a resolução é mostrada no item 3.2. A comparação mostra que os resultados obtidos no SteelApp NBR8800 se mostram bastante consistentes, com variações de no máximo 2,22% para elementos comprimidos. A diferença encontrada ocorre devido à precisão numérica, que provoca pequenas variações nos arredondamentos como no EXEMPLO 8, cujo valor de  $\chi$  mostrado no aplicativo e calculado no exemplo são 0,44 e 0,45, respectivamente. O resultado da resistência à compressão desse exemplo apresenta variação de 0,15%.

**Tabela 2. Comparação dos resultados para elementos comprimidos**

<b>EXEMPLO 5 – PERFIL HP 310x93</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$N_e$	9580,00	9580,00	0,00
$\lambda_{m\acute{a}x}$	49,60	49,60	0,00
$Q$	1,00	1,00	0,00
$\chi$	0,83	0,84	1,20
$N_{c,Rd}$	3114,00	3124,00	0,32
<b>EXEMPLO 6 (ELABORADO) - PERFIL C 200x20,5</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$N_e$	312,40	312,40	0,00
$\lambda_{m\acute{a}x}$	128,20	128,20	0,00
$Q$	1,00	1,00	0,00
$\chi$	0,42	0,42	0,00
$N_{c,Rd}$	248,18	247,35	0,33
<b>EXEMPLO 7 - CANTONEIRA SIMPLES L 88,9x7,9</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$N_e$	76,50	76,50	0,00
$\lambda_{m\acute{a}x}$	186,60	186,60	0,00
$Q$	1,00	1,00	0,00
$\chi$	0,20	0,20	0,00
$N_{c,Rd}$	61,06	61,69	1,03
<b>EXEMPLO 8 - CANTONEIRA DUPLA 2L 88,9x7,9</b>			
Variável	Cálculo Manual	SteelApp NBR8800	Erro (%)
$N_e$	348,30	348,30	0,00
$\lambda_{m\acute{a}x}$	123,70	123,70	0,00
$Q$	1,00	1,00	0,00
$\chi$	0,45	0,44	2,22
$N_{c,Rd}$	273,07	272,67	0,15

### 3.2. Resolução dos EXEMPLOS 1 e 6

Dois exemplos, EXEMPLOS 1 e 6, foram elaborados pelos autores para validação do SteelApp NBR8800 no item 3.1. Abaixo apresenta-se a resolução dos exemplos por meio das fórmulas apresentadas na NBR 8800 (2008).

O EXEMPLO 1 refere-se à verificação à tração axial do perfil CS300x62 nas seguintes condições:

$$f_y = \text{tensão de escoamento do aço} = 25 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_u = \text{tensão de ruptura do aço} = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{t,Sd} = \text{valor de projeto da força axial de tração} = 1250 \text{ kN}$$



$K_x L_x$  = comprimento equivalente de flambagem do eixo x = 400 cm

$K_y L_y$  = comprimento equivalente de flambagem do eixo y = 200 cm

$A_f$  = área de furos da seção = 0,0 cm<sup>2</sup> (ligação soldada)

$C_t$  = coeficiente de redução da área líquida = 0,70

$d$  = altura externa da seção = 300 mm

$b_f$  = largura da mesa = 300 mm

$t_f$  = espessura da mesa = 9,5 mm

$h$  = altura da alma = 281 mm

$t_w$  = espessura da alma = 8,0 mm

$A_g$  = área da seção transversal = 79,5 cm<sup>2</sup>

$i_x$  = raio de giração em relação ao eixo x = 13,04 cm

$i_y$  = raio de giração em relação ao eixo y = 7,33 cm

A verificação inicial é da esbeltez. Para os eixos x e y tem-se:

$$\lambda_x = \frac{K_x L_x}{i_x} = \frac{400}{13,04} = 30,67 \quad (10)$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L_y}{i_y} = \frac{200}{7,33} = 27,29 \quad (11)$$

Como a esbeltez para os eixos x e y é menor que 300, o elemento está abaixo do limite de esbeltez recomendado.

Em seguida determina-se a força axial de tração resistente de cálculo ( $N_{t,Rd}$ ) considerando-se:

Escoamento da seção bruta:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{79,5 \cdot 25}{1,10} = 1806,82 \text{ kN} \quad (12)$$

Ruptura da seção líquida:

$$N_{t,Rd} = \frac{C_t (A_g - A_f) f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,70 \cdot (79,5 - 0,0) \cdot 40}{1,35} = 1648,89 \text{ kN} \quad (13)$$

A força axial resistente é o menor valor entre escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, logo é igual a 1648,89 kN. Como a força resistente é maior do que a força solicitante ( $N_{t,Sd} = 1250$  kN), o perfil resiste ao esforço submetido.

A resolução de um problema de compressão é feita no EXEMPLO 6, no qual o elemento comprimido em perfil C200x20,5 possui as seguintes características:

$f_y$  = tensão de escoamento do aço = 25 kN/cm<sup>2</sup>

$f_u$  = tensão de ruptura do aço = 40 kN/cm<sup>2</sup>

$E$  = módulo de elasticidade longitudinal do aço = 20000 kN/cm<sup>2</sup>



$G_a$  = módulo de elasticidade transversal aço = 7700 kN/cm<sup>2</sup>

$N_{c,sd}$  = valor de projeto da força axial de compressão = 250 kN

$K_x L_x$  = comprimento equivalente de flambagem do eixo x = 200 cm

$K_y L_y$  = comprimento equivalente de flambagem do eixo y = 200 cm

$K_z L_z$  = comprimento equivalente de flambagem do eixo z = 200 cm

$d$  = altura externa da seção = 203,00 mm

$b_f$  = largura da mesa = 59,4 mm

$t_f$  = espessura da mesa = 9,91 mm

$h_w$  = altura interna da alma = 183,18 mm

$t_w$  = espessura da alma = 7,7 mm

$A_g$  = área da seção transversal = 26,0 cm<sup>2</sup>

$I_x$  = momento de inércia em relação ao eixo x = 1500 cm<sup>4</sup>

$I_y$  = momento de inércia em relação ao eixo y = 63,3 cm<sup>4</sup>

$i_x$  = raio de giração em relação ao eixo x = 7,59 cm

$i_y$  = raio de giração em relação ao eixo y = 1,56 cm

$J$  = constante de torção = 7,74 cm<sup>4</sup>

$C_w$  = coeficiente de empenamento = 5160 cm<sup>6</sup>

$x_0$  = distância do centro de cisalhamento em direção ao eixo x = 2,94 cm

A etapa inicial refere-se à determinação da força axial de flambagem elástica nos eixos principais do perfil:

$N_{ex}$ :

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(K_x L_x)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 1500}{(200)^2} = 7402,20 \text{ kN} \quad (14)$$

$N_{ey}$ :

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{(K_y L_y)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 64,1}{(200)^2} = 312,37 \text{ kN} \quad (15)$$

$N_{exz}$ :

$$r_0 = \sqrt{i_x^2 + i_y^2 + x_0^2} = \sqrt{7,59^2 + 1,56^2 + 2,94^2} = 8,29 \quad (16)$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left( \frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right) = \frac{1}{8,29^2} \left( \frac{\pi^2 \cdot 20000 \cdot 5160}{(200)^2} + 7700 \cdot 7,74 \right) = 1237,73 \text{ kN} \quad (17)$$



$$\begin{aligned} N_{exz} &= \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left(1 - \left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2\right)} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ex}N_{ez} \left(1 - \left(\frac{x_0}{r_0}\right)^2\right)}{(N_{ex} + N_{ez})^2}}\right) = \\ &= \frac{7402,20 + 1237,73}{2 \left(1 - \left(\frac{2,94}{8,29}\right)^2\right)} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot 7402,20 \cdot 1237,73 \left(1 - \left(\frac{2,94}{8,29}\right)^2\right)}{(7402,20 + 1237,73)^2}}\right) = \quad (18) \\ &= 4941,47 \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{32038428,17}{74648390,40}}\right) = 1208,10 \text{ kN} \end{aligned}$$

A força axial de flambagem elástica ( $N_e$ ) é o menor valor entre  $N_{ey}$  e  $N_{exz}$ , logo é igual a 312,37 kN.

Prosseguindo, verifica-se a esbeltez máxima, calculada por:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \pi \sqrt{\frac{EA_g}{N_e}} = \pi \sqrt{\frac{20000 \cdot 26,0}{312,37}} = 128,18 \quad (19)$$

Como a esbeltez máxima é menor do que 200, o elemento está abaixo do limite de esbeltez permitido.

A resistência à compressão depende da flambagem local de mesa e de alma. A verificação da ocorrência de flambagem de mesa para o perfil C200x20,5 se dá através da expressão:

$$\frac{b}{t} = \frac{b_f}{t_f} = \frac{59,4}{9,91} = 5,99 \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,56 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,84 \quad (20)$$

Como a relação  $b/t$  é menor ou igual ao limite dado por 15,84, não ocorre flambagem local de mesa, ou seja,  $Q_s = 1,00$ .

A verificação da ocorrência de flambagem de alma é dada por:

$$\frac{b}{t} = \frac{h_w}{t_w} = \frac{183,18}{7,7} = 23,79 \leq 1,49 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} = 1,49 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 42,14 \quad (21)$$

Como a relação  $b/t$  é menor ou igual ao limite dado por 42,14, não ocorre flambagem local de alma e, assim,  $Q_a = 1,00$ .

Logo,  $Q = Q_s Q_a = 1,00 \cdot 1,00 = 1,00$ .

A informação que falta para encontrar a resistência à compressão é o fator de redução  $\chi$ , dado a partir do cálculo do índice de esbelte reduzido ( $\lambda_0$ ):



$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{QA_g f_y}{N_e}} = \sqrt{\frac{1,00 \cdot 26,0 \cdot 25}{312,37}} = 1,44 \leq 1,5 \quad (22)$$

Logo, como  $\lambda_0 \leq 1,50$ , teremos:

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2} = 0,658^{1,44^2} = 0,42 \quad (23)$$

Assim, tem-se que a força axial de compressão resistente de cálculo ( $N_{c,Rd}$ ) é:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,42 \cdot 1,00 \cdot 26,0 \cdot 25}{1,10} = 248,18 \text{ kN} \quad (24)$$

Como a força resistente de 248,18 kN é menor do que a força solicitante ( $N_{c,sd} = 250$  kN), o perfil não resiste ao esforço submetido.

#### 4. Conclusão

O aplicativo desenvolvido, chamado SteelApp NBR8800, destina-se à verificação de elementos de aço sob força axial de tração ou compressão, constituídos por perfis do tipo W, U, cantoneira e dupla cantoneira, tendo como base de cálculo a NBR 8800 (ABNT, 2008). Ademais, apresenta a possibilidade de verificação de cisalhamento de bloco, otimização do perfil comercial e a inserção de variados tipos de perfis.

A diferença máxima de resistência à solicitação axial, tração e compressão, nos resultados do SteelApp NBR8800, quando comparado aos exemplos existentes e outros elaborados no artigo, ocorreu na verificação da resistência à compressão de cálculo, com variação de 1,03%. Esta pequena diferença decorre das considerações de cálculo e das aproximações utilizadas tais como, arredondamento ou truncamento.

Os resultados obtidos mostram que o SteelApp NBR8800, aplicativo para *smartphone*, pode ser utilizado como uma ferramenta de auxílio para estudantes e profissionais da engenharia civil por facilitar diversas verificações de cálculo estrutural em elementos de aço sem a necessidade de um *software* de computador, que necessita de um equipamento robusto para funcionar.

#### 5. Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800 (2008). Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios, Rio de Janeiro.
- Carvalho, S. (2013). Android Studio: vantagens e desvantagens com relação ao Eclipse, <http://imasters.com.br/mobile/android/android-studiovantagens-e-desvantagens-com-relacao-ao-eclipse/>, Junho.
- Claro, D. B. e Sobral, J. B. M. (2008). Programação em Java. Copyleft Pearson Education. Florianópolis-SC.
- Coelho, P. (2016). Programação em Java: Curso Completo. 5ed. Lisboa: FCA Editora de Informática Ltda.
- Cardoso, A. S. (2012). Avaliação de aplicações gráficas em diferentes versões do sistema Android. Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do





Título de Bacharel em Ciência da Computação, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel.

- Fakury, H. R., Silva, A. L. R. C. e Caldas, R. B. (2016). Dimensionamento de elementos estruturas de aço e mistos de aço e concreto. São Paulo: Pearson Education do Brasil.
- Freitas, G. L. e Candeias, A. L. B. (2014). Programação com Android na área da engenharia cartográfica: alguns exemplos, Recife.
- Google. (2019). Sobre a Plataforma Android, <https://developer.android.com/about/>.
- Kantar. (2019). Android vs. iOS: Smartphone OS Sales Market Share Evolution. <https://www.kantarworldpanel.com/global/smartphone-os-market-share/>.
- Pfeil, W. e Pfeil M. (2009). Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático. 8º ed. Rio de Janeiro.
- Riffel, D. P. P. (2017). Aplicativo Android para gerenciamento de culturas agrícolas. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.
- Suzuki, V. E. (2014). Elaboração de Software Educacional para Verificação de Elementos de Aço Submetidos à Força Axial Segundo a ABNT NBR8800:2008. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão.