

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO ANDROID PARA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE PERFIS LAMINADOS DE AÇO

Jesse Wille Gondim Pinto – jessewillegondim@gmail.com
Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA
Rua Francisco Mota, 572 - Pres. Costa e Silva
CEP: 59625-900 – Mossoró – RN

Francisca Joyce dos Santos Bandeira – engjoycesantos@gmail.com
Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA
Rua Francisco Mota, 572 - Pres. Costa e Silva
CEP: 59625-900 – Mossoró – RN

Eric Mateus Fernandes Bezerra – eric_mateusjes@hotmail.com
Centro Universitário Christus – Unichristus
Av. Dom Luís, 911 - Meireles
CEP: 60160-230 – Fortaleza – CE

Resumo: O desenvolvimento tecnológico e a popularização da internet têm intensificado o acesso a informações e mudado o perfil da sociedade. Assim, os novos paradigmas da educação vêm buscando meios de se apropriar da tecnologia para potencializar o aprendizado desse perfil de aluno, que, praticamente, nasce com acesso em tempo integral a seus smartphones. Nesse contexto, os aplicativos para dispositivos móveis podem representar uma assistência eficaz no processo de ensino-aprendizagem. O presente trabalho trata, portanto, do desenvolvimento de um aplicativo para dispositivos móveis com sistema operacional Android que auxilie na verificação da resistência de perfis laminados de aço submetidos aos esforços de tração, compressão, flexão, flexotração e flexocompressão, de acordo com as prescrições da NBR 8800 (ABNT, 2008). Para a determinação dos esforços resistentes, foi utilizado o método dos estados limites. A programação do aplicativo foi realizada por meio da IDE Android Studio, através do paradigma de programação orientada a objetos em Java. A validade do aplicativo é atestada mediante a comparação dos seus resultados com os de um software difundido no mercado e com soluções de autores da literatura base. Os resultados comprovam que a ferramenta pode ser usado como uma fonte de consulta confiável para o meio acadêmico.

Palavras-chave: Aplicativo Android. Perfis laminados de aço. Ferramenta educacional.

1 INTRODUÇÃO

O uso de ferramentas computacionais que auxiliam no desenvolvimento de atividades do setor da construção civil tem demonstrado serem uma aquisição de grande valor, facilitando as tarefas e aprimorando a sua qualidade. Por isso, os profissionais modernos, sobretudo da área de tecnologia, precisam de uma boa desenvoltura com a manipulação de ferramentas computacionais. É imprescindível, portanto, que haja uma familiarização dos alunos dessa área com essas ferramentas.

O advento de dispositivos móveis, tais como *smartphones* e *tablets*, com poder de processamento elevado têm feito com que os mesmos sejam utilizados para o auxílio em

diversas atividades do cotidiano. A facilidade de acesso a estes e o desenvolvimento de aplicativos para os mais diversos fins os tornaram indispensáveis, tanto que é improvável alguém não ter acesso a eles em tempo quase integral.

Antes, o acesso a informações era restrito a livros físicos presentes nas bibliotecas das instituições de ensino e ao conhecimento dos professores. As aulas, por isso, eram baseadas na exposição continuada dos professores e os alunos tinham que aproveitar aquele momento para extrair, de forma passiva, o máximo de informações que precisariam para, doravante, desenvolverem suas atividades profissionais. Hoje, a mobilidade dos dispositivos computacionais e a democratização da internet tornaram o acesso a informações mais rápido, fato que justifica uma mudança na forma tradicional de ensino, baseada, predominantemente em memorização e resolução manual de problemas cujas soluções já são conhecidas.

Com um aplicativo de um *smarthphone* é possível, no momento da aula, realizar uma consulta rápida e avaliar outras possibilidades de solução para um mesmo problema. Isso fomenta o desenvolvimento de uma percepção para realizar uma análise crítica dos resultados e promove uma sensibilidade quanto à ordem de grandeza da resposta.

Além disso, a disputa com aplicativos de entretenimento, tais como jogos e redes sociais, tem dificultado o processo de ensino-aprendizado, tanto que tem seu uso proibitivo em muitas salas de aula. Desse modo, é necessário criar subterfúgios para tornar essa tecnologia, com notável potencial didático, em uma aliada.

Os problemas de estruturas são caracterizados, em sua maioria, por extensas rotinas de cálculo. Com a utilização dessas ferramentas de apoio, o tempo que seria gasto para a realização de operações matemáticas básicas pode ser destinado à investigação de várias soluções para um problema, o que aumenta a possibilidade de extrair o melhor rendimento do sistema (LOPES; CHAVES; BEZERRA, 2018). A possibilidade de se ter em mãos uma fonte de consulta segura para se verificar a solução de um problema numericamente dispendioso, ou até mesmo de uma aplicação prática em campo, caracteriza um cenário favorável para um estudante de engenharia, bem como para um profissional no exercício de sua profissão.

Atualmente, a utilização de perfis de aço pela indústria da construção civil tornou-se uma prática recorrente. Isso decorre do fato do aço possuir algumas vantagens em comparação ao concreto, dentre as quais pode-se citar: menor tempo de execução; maior controle tecnológico; utilização de peças de menores dimensões que podem alcançar grandes vãos; sua baixa relação peso/resistência. Por conseguinte, os cursos de graduação em engenharia civil costumam exigir disciplinas obrigatórias que tratem do projeto de estruturas de aço.

Balizados pelos argumentos supracitados, este trabalho tem como proposta a elaboração de um aplicativo para a plataforma *Android*, desenvolvido por meio da linguagem de programação *Java*, que forneça os valores confiáveis de resistência à flexão, tração, compressão, flexotração e flexocompressão de uma série de perfis laminados de aço presentes no mercado. A mesma terá os seus resultados validados através de comparações tanto por um *software* renomado como por exemplos resolvidos por autores da literatura base.

2 DIMENSIONAMENTO DE PERFIS DE AÇO LAMINADOS

O dimensionamento de perfis metálicos é baseado em um processo de tentativa e erro. Inicialmente é feito o cálculo da capacidade resistente de um determinado perfil, com forma e dimensão padronizada, para os diversos tipos de solicitação e, em seguida, este é comparado com os esforços solicitantes previamente determinados. Devido à vasta quantidade de perfis, é imprescindível que essa escolha seja assistida por uma ferramenta computacional.

De acordo com a NBR 8800 (ABNT, 2008), em um dimensionamento de peças tracionadas, deve ser atendida a seguinte condição:

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

Sendo:

$N_{t,Sd}$ a força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$ a força axial de tração resistente de cálculo.

A força axial de tração resistente de cálculo a ser usada no dimensionamento, será dada pelo menor valor das Equações (2) e (3), sendo considerados os estados limites últimos de Escoamento da Seção Bruta (ESB) e Ruptura da Seção Líquida (RSL).

Escoamento da seção bruta:
$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (2)$$

Ruptura da seção líquida:
$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (3)$$

Em que:

A_g é a área bruta da seção transversal da peça;

A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da peça;

f_y é a resistência ao escoamento do aço;

f_u é a resistência à ruptura do aço;

γ_{a1} é o coeficiente de ponderação relacionado a escoamento, flambagem e instabilidade (assume o valor de 1,10 para uma combinação normal de aços);

γ_{a2} é o coeficiente de ponderação relacionado à ruptura (assume o valor de 1,35 para uma combinação normal de aços).

Para peças comprimidas, NBR 8800 (ABNT, 2008), deve ser atendida a seguinte condição:

$$N_{c,Sd} \leq N_{c,Rd} \quad (4)$$

Em que:

$N_{c,Sd}$ é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

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

A força axial de compressão resistente de cálculo, que abrange os estados limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou flexo-torção e de flambagem local, deve ser calculada através da Equação (5):

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (5)$$

Em que:

χ é o fator de redução da resistência à compressão associado à flambagem global;

Q é o fator de redução da resistência à compressão associado à flambagem local;

No dimensionamento de perfis submetidos a momento fletor, deve ser atendido o disposto na Equação (6):

$$M_{Sd} \leq M_{Rd} \quad (6)$$

Onde:

M_{Sd} é o momento fletor solicitante de cálculo;

M_{Rd} é o momento fletor resistente de cálculo.

A NBR 8800 (ABNT, 2008) afirma que devem ser considerados, de acordo com cada caso, vários estados limites últimos, sendo os aplicáveis a este trabalho: Flambagem Lateral com Torção (FLT), Flambagem Local da Mesa comprimida (FLM) e Flambagem Local da Alma (FLA).

Para o dimensionamento de perfis submetidos a esforço cortante, deve ser atendido o disposto na Equação (7):

$$V_{Sd} \leq V_{Rd} \quad (7)$$

Onde:

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

V_{Rd} é a força cortante resistente de cálculo.

Em conformidade com o proposto pela NBR 8800 (ABNT, 2008) e por Pfeil e Pfeil (2009), no dimensionamento de perfis sob esforços de flexotração ou flexocompressão, deve ser atendido o disposto nas Equações (8) e (9), considerando o caso em questão:

$$\text{Para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} \geq 0,2 : \quad \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{B_1 M_{sd}}{M_{rd}} \right) \leq 1 \quad (8)$$

$$\text{Para } \frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} < 0,2 : \quad \frac{N_{Sd}}{2N_{Rd}} + \left(\frac{B_1 M_{sd}}{M_{rd}} \right) \leq 1 \quad (9)$$

Onde:

N_{Sd} é a força axial solicitante de cálculo de tração ou compressão, a que for aplicável;

N_{Rd} é a força axial resistente de cálculo de tração ou compressão, a que for aplicável;

M_{Sd} é o momento fletor solicitante de cálculo;

M_{Rd} é o momento fletor resistente de cálculo;

B_1 é o coeficiente de amplificação do momento primário.

3 DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

O aplicativo idealizado por este trabalho foi criado através do *software* para computadores *Android Studio*, sendo este a IDE (*Integrated Development Environment*) oficial para elaboração de aplicativos destinados ao sistema operacional *Android*, substituindo o *Eclipse Android Development Tools* (EADT) como a IDE primária de desenvolvimento nativo para *Android* da *Google* (CHAVES, 2017). A plataforma *Android Studio* é totalmente gratuita e está disponível no site oficial (<https://developer.android.com>) para *download* nos sistemas *Windows*, *Mac OS X* e *Linux*.

Para a elaboração da interface gráfica do aplicativo, que é o ambiente de comunicação entre a ferramenta e o usuário, foi utilizada a linguagem de marcação *xml*. Para o processamento e armazenagem de dados foi utilizado o paradigma de programação orientada a objetivos em *Java*.

O aplicativo aqui criado foi nomeado como *Laminated Steel*. O mesmo possui um banco de dados contendo as dimensões e propriedades geométricas de vários perfis comerciais, relacionados por ordem de escolha na ferramenta: H padrão americano; I padrão americano; U de abas inclinadas entre si; Cantoneira de abas iguais (separadas em dois grupos menores, de acordo com as alturas das seções transversais dos perfis); Cantoneiras de abas desiguais; W tipo I; W tipo H e HP; IPE europeu e HEA europeu. A ferramenta possui um total de 277 perfis cadastrados, todos padronizados, podendo ser encontrados no livro Estruturas de Aço – Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008 – Pfeil e Pfeil (2009). O banco de dados do *Laminated Steel* também contém uma série de aços estruturais, apresentando os valores de suas respectivas resistências ao escoamento e ruptura.

3.1 Apresentação do aplicativo

Na interface inicial da ferramenta, mostrada na Figura 1, são dispostos quatro botões: o primeiro (TRAÇÃO) traz o ambiente para o dimensionamento de perfis sob o esforço de tração axial; o segundo botão (COMPRESSÃO) dá acesso ao ambiente para o dimensionamento de perfis sob o esforço de compressão axial; já o terceiro (FLEXÃO) direcionará o usuário para o ambiente destinado para perfis fletidos, abordando o dimensionamento para os esforços de momento fletor e esforço cortante. Por sua vez, o quarto botão (FLEXOCOMPRESSÃO/FLEXOTRAÇÃO) acessa a tela de dimensionamento para esforços compostos.

Figura 1 - Interface inicial do aplicativo



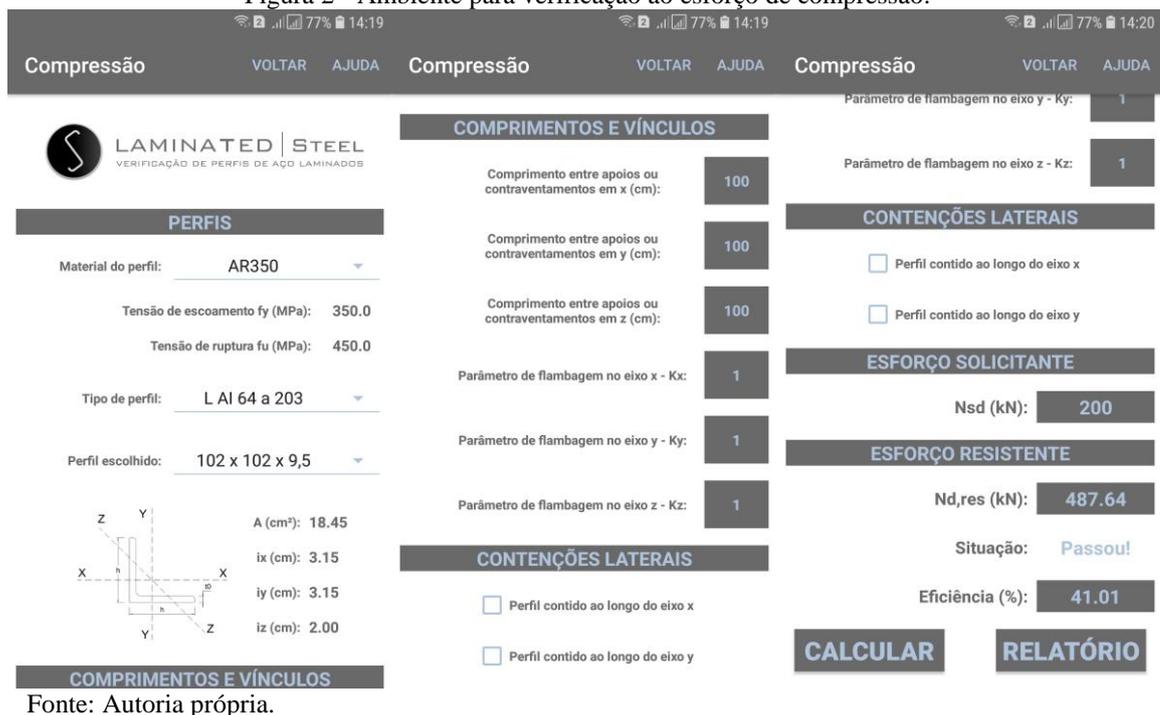
Fonte: Autoria própria.

Todos os quatro ambientes para cálculo dos esforços possuem um primeiro bloco de informações a respeito dos perfis a serem verificados, onde o usuário deve escolher, através de listas suspensas, o aço a partir do qual a peça é fabricada, o formato da seção transversal e as suas dimensões. É neste campo que o usuário acessa a biblioteca do *Laminated Steel*, selecionando dentre as opções previamente cadastradas a de sua escolha.

Ainda neste primeiro bloco, o aplicativo alterna a ilustração da forma da seção transversal do perfil, como também as propriedades geométricas determinantes para o dimensionamento ao respectivo esforço solicitante, de acordo com a seleção na lista suspensa "Tipo de perfil".

Também comum a todos os ambientes, exceto a tela inicial do aplicativo, estão posicionados no canto superior direito dois botões: o primeiro direciona o usuário para a tela anterior; o segundo botão acessa uma interface flutuante de ajuda conforme o esforço abordado, contendo informações destinadas a facilitar o entendimento de alguns parâmetros de cálculo. A Figura 2 ilustra o ambiente de verificação ao esforço de compressão.

Figura 2 - Ambiente para verificação ao esforço de compressão.



Fonte: Autoria própria.

4 APLICAÇÕES NUMÉRICAS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos através das análises numéricas realizadas com o aplicativo *Laminated Steel*, com o objetivo de validar estes resultados por meio de comparações com exemplos resolvidos por autores que abordaram em seus trabalhos o dimensionamento de perfis laminados de aço. Os autores consultados foram Pfeil e Pfeil (2009), Silva (2012) e Pinheiro (2005). Os resultados também foram comparados com os fornecidos pelo *software* mCalc3D.

4.1 Validação da ferramenta por meio de exemplos da literatura

Nos exemplos de verificação ao esforço de tração axial, foram analisados os perfis de seção U 381 x 50,4 kg/m e U 203 x 17,1 kg/m. Para o exemplo de esforço de compressão axial, empregou-se duas cantoneiras de abas desiguais 203 x 102 x 25,4 mm. No que diz respeito aos exemplos abordando os esforços de flexão, fez-se análise para os perfis de seção W 530 x 85,0 kg/m e I 254 x 37,7 kg/m. Por fim, para o exemplo de flexocompressão, o autor utilizou um perfil do tipo soldado CS 300 x 76, que não está contido no banco de dados do aplicativo mas que apresenta propriedades geométricas similares às do perfil laminado HP 310 x 79,0 kg/m, sendo este último disponibilizado pela ferramenta.

Diante dos exemplos propostos solucionados por seus respectivos autores, juntamente com os resultados do aplicativo para essas mesmas verificações, a Tabela 1 mostra um resumo comparativo.

Tabela 1 - Resumo dos resultados finais na comparação com os exemplos da literatura.

Verificações			Resultados		
Exemplo	Esforço		Literatura	<i>Laminated Steel</i>	Erro
Pfeil e Pfeil (2009, p. 58-59)	Tração	ESB	1.459,09 kN	1.459,09 kN	0,00 %
		RSL	1.164,44 kN	1.161,82 kN	0,22 %
Silva (2012, p. 32)	Tração	ESB	495,45 kN	495,45 kN	0,00 %
		RSL	514,07 kN	513,96 kN	0,02 %
Pfeil e Pfeil (2009, p. 145)	Compressão		574,00 kN	579,00 kN	0,86 %
Pfeil e Pfeil (2009, p. 184)	Flexão	FLA ou FLM	477,27 kNm	477,27 kNm	0,00 %
		FLT	477,27 kNm	477,27 kNm	0,00 %
Pinheiro (2005, p. 98-99)	Flexão	FLA ou FLM	105,76 kNm	104,68 kNm	1,02 %
		FLT	105,76 kNm	104,68 kNm	1,02 %
Silva (2012, p. 94-96)	Flexocomp.	Compressão	1830,00 kN	1.852,91 kN	1,24 %
		Flexão	272,95 kNm	256,51 kNm	6,02 %
		Interação	93,42 %	96,07 %	2,76 %

Fonte: Autoria própria.

Pode ser observado uma pequena diferença para os valores de resistência aos esforços de tração e compressão, o que pode ser justificado pelos arredondamentos utilizados pelos autores, enquanto que o aplicativo trabalha com um maior número de casas decimais.

Com relação aos valores para o segundo exemplo de verificação ao esforço de flexão e também para o exemplo de flexocompressão, surge uma diferença mais expressiva, justificável, respectivamente, pela aplicação de valores ligeiramente diferentes para as propriedades geométricas do perfil e por uma comparação entre perfis com características geométricas apenas semelhantes (comparação entre um perfil soldado e outro laminado).

4.2 Validação da ferramenta por meio do mCalc3D

O mCalc3D, desenvolvido pela STABILE, é uma ferramenta computacional destinada para a modelagem, análise e dimensionamento de estruturas metálicas espaciais, onde toda a metodologia de cálculo é feita com base nas prescrições das normas NBR 14762:2010 e NBR 8800:2008, que abordam, respectivamente, os perfis formados a frio e os perfis formados por processos de laminação e soldagem.

Para esta comparação entre o mCalc3D e o *Laminated Steel*, foi empregado o perfil de seção W tipo I 610 x 174,0 kg/m. Através dos resultados obtidos com a análise do *software* e do aplicativo, é feito um resumo comparativo, detalhado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo dos resultados finais na comparação com o mCalc3D.

Verificações		Resultados		
Esforços		mCalc3D	<i>Laminated Steel</i>	Erro
Tração	ESB	5.063,64 kN	5.063,64 kN	0,0000 %
	RSL	6.601,48 kN	6.601,48 kN	0,0000 %
Compressão		4.873,96 kN	4.873,84 kN	0,0025 %
Flexão	FLA ou FLM	1.209,33 kNm	1.223,41 kNm	1,1509 %
	FLT	1.209,33 kNm	1.223,41 kNm	1,1509 %
	Cortante	1.176,00 kN	1.176,00 kN	0,0000 %

Fonte: Autoria própria.

Pode ser observado uma pequena diferença para os valores de resistência do momento fletor. Essa diferença é justificada pela influência direta do módulo plástico da seção (Z), cadastrado com valores diferentes nos bancos de dados, sendo de 5.320 cm³ para o mCalc3D e de 5.383 cm³ para o aplicativo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da interpretação dos resultados finais obtidos, é possível creditar ao presente trabalho êxito no alcance dos objetivos propostos, uma vez que o aplicativo identificado como *Laminated Steel* fornece valores de resistência final satisfatórios quando confrontados aos obtidos por um *software* difundido e renomado nos âmbitos acadêmico e profissional, além de estar de acordo com soluções propostas pela literatura base.

Por essa razão, a ferramenta aqui desenvolvida se apresenta como um meio alternativo competente destinado à análise e verificação de perfis laminados de aço submetidos a esforços normais (tração e compressão), de flexão (momento fletor e força cortante) e simultâneos (flexotração e flexocompressão), onde lhe é conferida um alto grau de praticidade, dada a sua interface simples e processamento rápido.

É possível afirmar ainda que o aplicativo possui uma vantagem inquestionável, no contexto de mobilidade, em comparação aos *softwares* do mercado que demandam um maior poder de processamento de dados, servindo assim como um subsídio gratuito e confiável para alunos de graduação e profissionais da engenharia.

Informa-se ainda que o aplicativo *Laminated Steel* é parte integrante de um pacote de ferramentas computacionais, disponibilizadas gratuitamente no site www.handstructure.com, desenvolvidas no âmbito da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, contemplando planilhas eletrônicas, aplicativos para dispositivos móveis com sistema operacional *Android* e uma plataforma *online*, sendo todas estas aplicáveis para problemas da engenharia de estruturas.

Por fim, ao longo da concretização deste trabalho, notou-se que algumas implementações se mostraram relevantes, podendo ser adicionadas como um meio de ampliação do aplicativo. Dentro deste contexto, sugere-se para trabalhos futuros a implementação das seguintes análises:

verificação da resistência de perfis compostos; verificação da resistência de conectores e metais de solda; verificação da resistência de perfis soldados.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios - procedimento. Rio de Janeiro, 2008.

CHAVES, W. K. C. **Aplicativo android para verificação da resistência de perfis de aço formados a frio**. 2017. 64 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

GUANABARA, M. K. **Dimensionamento de estruturas metálicas**: rotina computacional para seleção de perfis metálicos. 2010. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de aço: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PINHERIO, A. C. F. B. **Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos**. 2ª edição, São Paulo: Blucher, 2005.

SILVA, V. P. **Dimensionamento de estruturas de aço**. Apostila, Imprensa Universitária, USP. São Paulo, 2012.

DEVELOPMENT OF ANDROID APPLICATION FOR ASSESSMENT OF RESISTANCE OF LAMINATED STEEL PROFILES

Abstract: *Technological development and the popularization of the Internet have intensified access to information and changed the profile of society. Thus, the new paradigms of education have sought ways to appropriate technology to enhance the learning of this student profile, which is practically born with full-time access to their smartphones. In this context, mobile applications can be an effective aid in the teaching-learning process. The present work deals with the development of an application for mobile devices with an Android operating system that assists in the verification of the resistance of steel rolled profiles subjected to tensile, compression, flexure, flexotractive and flexocompression stresses, in accordance with the NBR 8800 (ABNT, 2008). For the determination of the resistant efforts, the limit state method was used. The application programming was performed through the IDE Android Studio, through the paradigm of object-oriented programming in Java. The validity of the application is attested by comparing its results with those of a software distributed in the market and with solutions of authors of the base literature. The results prove that the tool can be used as a source of reliable consultation for the academic environment.*

Key-words: *Android application. Rolled steel profiles. Educational Tool.*