

DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO MULTIPLATAFORMA PARA DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA DE LIGAÇÕES METÁLICAS FLEXÍVEIS COM CANTONEIRAS

Rafael V. Miranda

rafaelmirandaeng@gmail.com

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Av. Amazonas, 7675 Nova Gameleira, 30510-000, Belo Horizonte/MG – Brasil

Artur M. Reis

artur.m.reis@hotmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Rua Walter Ianni, 255 São Gabriel, 31980-110, Belo Horizonte/MG – Brasil

William L. Fernandes

wlfernandes13@gmail.com

Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 São Luís, 31270-901, Belo Horizonte/MG – Brasil

Abstract. Este estudo retrata o desenvolvimento de um aplicativo multiplataforma em linguagem JAVA® utilizado para a verificação da resistência de ligações flexíveis em estruturas de aço com cantoneiras duplas de abas iguais. O aplicativo pode ser utilizado para verificação da resistência de uma ligação com cantoneiras entre uma viga e um pilar ou entre duas vigas de aço. Essas conexões podem ser aparafusadas ou soldadas. Para verificar a resistência de tais conexões, várias situações de colapso são verificadas, de modo que a menor resistência encontrada entre todas as possibilidades de falha é considerada como a resistência da conexão. O usuário precisa especificar o tipo de aço usado no componente estrutural, selecionando uma das duas opções (ASTM A36 ou ASTM A572); o tipo de aço utilizado nos parafusos (ASTM A325 ou ASTM A490); os perfis de aço usados no elemento estrutural e o tipo de ligação com base em um banco de dados salvo. Além disso, o usuário precisa digitar o diâmetro e o número de parafusos localizados em cada aba da ligação. No caso de ligações soldadas, é necessário considerar também a resistência à ruptura da solda e do aço base próximo à solda. Depois de fornecer esses dados de entrada para o programa, calcula-se a resistência limite da conexão.

Keywords: Estruturas de Aço, Ligações Flexíveis, Aplicativo em Java.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Inaba e Coelho [1], nos últimos anos passaram a ser necessárias obras realizadas em menor tempo e com maior qualidade, devido à expansão da construção civil, com grandes mudanças qualitativas e um crescente amadurecimento do mercado. Fazendo com que os sistemas construtivos industrializados, em especial o de aço, destacar e se tornar atrativo frente a estas solicitações.

Dentre as técnicas de se realizar uma ligação entre estruturas metálicas, a que é realizada por meio de cantoneiras tem grande destaque devido a sua facilidade de execução. Contudo, a determinação das especificações mínimas necessárias dos elementos de ligação, se faz de maneira trabalhosa em meio a inúmeras verificações de cálculo indispensáveis para garantir a resistência da ligação. [2]

É comum, de acordo com Campolina [3], a falta de conhecimento mais específico com detalhes da construção metálica devido à formação acadêmica dos profissionais de arquitetura, engenheiros e projetistas. Porém, os próprios profissionais vêm buscando cada vez mais informações sobre o sistema, por entenderem que, em alguns tipos de obras, existem grandes vantagens na construção em aço.

Diante desse cenário, este estudo se faz relevante, pois nele será retratado o desenvolvimento de um software cuja utilidade é realizar a gama de cálculos para a verificação da resistência encontrada nos diferentes parâmetros que são possíveis para o colapso da ligação, possibilitando ao usuário estabelecer a combinação ideal entre todos os elementos que compõem esta ligação. É importante ressaltar que toda a base de cálculo foi extraída do Gerdau [4], da GERDAU, que além de já se basear fielmente na própria norma NBR 8800:2008 [5], fornece dados complementares, como exemplos, que foram elaborados de maneira didática.

O objetivo desse artigo é o desenvolvimento de um aplicativo na linguagem JAVA, que permita a verificação da resistência de ligações flexíveis, utilizando cantoneiras em junções entre vigas ou entre vigas e pilares metálicos. Oferecer ao usuário a possibilidade de recorrer ao programa em diversas plataformas, como computadores e dispositivos móveis, facilitando sua utilização na própria obra. Dessa forma, pretende-se atender as necessidades de verificação mais recorrentes em estruturas metálicas.

2 LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS DE AÇO

Conforme a NBR8880:2008 [5], ligações metálicas se referem aos elementos utilizados para unir os componentes uns aos outros, sendo eles chapas, cantoneiras, consolos, enrijecedores, entre outros. A ligação deve ser escolhida a partir da solicitação e carga aplicada nas mesmas e a resistência dessas ligações deve ser igual ou maior que essas solicitações no estado limite último. Devido ao processo de fabricação modular das estruturas metálicas, a sua utilização obriga o construtor a emendá-las ou ligá-las entre si para estabelecer a estrutura desejada para cada situação. Os enrijecedores, as chapas de ligação, as cantoneiras e os consolos são os elementos mais comuns para essas situações.[6] Os elementos de ligação comumente utilizados são os parafusos, as soldas, as barras redondas rosqueadas e os pinos [7]. Uma das formas de se caracterizar uma ligação é de acordo com sua rigidez. Podendo ser classificada como uma ligação rígida, flexível ou semi-rígida, como indicado na Fig 1.



Figura 1. Comportamento das ligações: Vasconcellos - 2011

2.1 Ligações Rígidas

As ligações são consideradas rígidas quando as estruturas interligadas estabelecem um comportamento de continuidade da rotação exercida, de tal maneira que a ligação transmita pelo menos 90% do momento teórico esperado caso a conexão fosse um engaste perfeito. Segundo Pfeil e Pfeil [8] ressaltam ainda que, nessa condição, o ângulo original entre as peças permanece praticamente inalterado. A Fig. 2 demonstra o comportamento desse tipo de ligação.

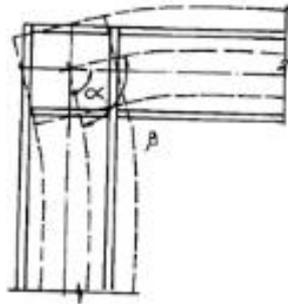


Figura 2. Simulação do Comportamento da Ligação Rígida: Instituto Aço Brasil - 2017

2.2 Ligações Semi-Rígidas

São aquelas em que a ligação não se comporta como uma rótula, mas também não transmite integralmente o momento entre as estruturas interligadas como ocorre nas ligações rígidas, sendo assim, uma situação intermediária entre a ligação flexível e a ligação rígida.

2.3 Ligações Flexíveis

De acordo com Pfeil e Pfeil [8] as ligações flexíveis possuem como principal característica transmitir um momento tão baixo que pode ser desconsiderado no projeto, podendo as mesmas serem então consideradas como rótulas, permitindo, conseqüentemente, a rotação entre os elementos envolvidos. Pode-se observar a seguir três exemplos de ligações flexíveis conforme o Gerdau [4], sendo a última delas objeto de estudo deste trabalho.

As Ligações Flexíveis com Chapa de Extremidade englobam as situações em que a viga se apoia na Aba ou em alma de pilar, onde não há necessidade de recortar a viga. A chapa de extremidade possui a mesma altura da alma da viga, como demonstra a Fig. 3, proporcionando um travamento lateral da aba comprimida no apoio, sendo a flexibilidade dessa ligação garantida pela pequena espessura da chapa de extremidade. Existem limitações, pois não são englobados recortes em vigas e a força normal de cálculo é considerada no centro da ligação, produzindo momento fletor na viga

apoiada.

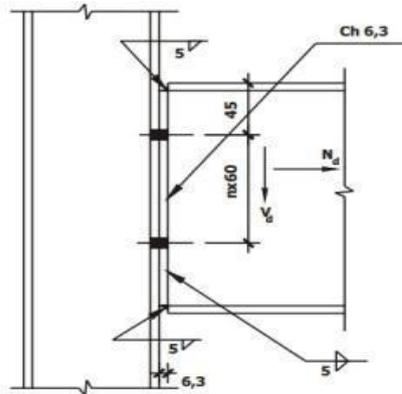


Figura 3. Ligação Flexível com chapa de extremidade: GERDAU – 2012

Outro tipo de ligação flexível comumente utilizada é a Ligação Flexível com Chapa de Extremidade, que consiste em uma chapa vertical soldada no elemento suporte (pilar) com solda de filete duplo e parafusada na viga apoiada. Como se pode observar na Fig. 4, esta ligação é projetada para suportar uma carga vertical e um momento decorrente da excentricidade (desvio ou distância do centro).

Neste caso existe uma folga de 10 mm entre a viga e a face do elemento suporte para não impedir a rotação de apoio.

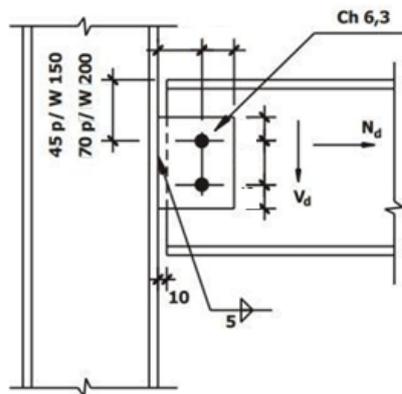


Figura 4. Ligação Flexível com chapa simples: GERDAU – 2012

Por fim, a ligação Flexível que iremos explorar é a Ligação com duas cantoneiras parafusadas nas duas abas, como demonstra a Fig. 5a, e a Ligação com duas cantoneiras soldadas na viga apoiada e parafusadas no elemento suporte, viga ou pilar como exemplificado na Fig. 5b.

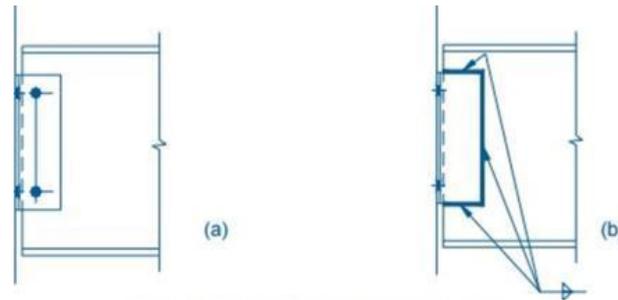


Figura 5. Ligações Flexíveis com cantoneiras: GERDAU – 2012

Para cada tipo de perfil existe a posição correta de ligação e espaçamento entre os parafusos, entre os parafusos e cantoneira, e o mesmo com a aba superior da viga. A quantidade de parafusos utilizada para cada tipo de perfil deve ser definida em função da altura da seção, levando em consideração o comprimento da cantoneira, que deve ser igual ou superior à metade da altura da seção, a distância entre o furo até a face superior da viga, que deve ser igual ou inferior à distância do furo inferior até a face inferior da viga, além da distância entre a extremidade da viga apoiada e a face externa das cantoneiras, que será de 10 mm.

3 Critérios e formulações para verificação da resistência de ligações LCPP e LCSP

Para a verificação da resistência das ligações flexíveis com cantoneiras, é preciso conferir diversas situações de colapso, ao passo que a menor resistência encontrada dentre todas as possibilidades de falência da ligação será a resistência de cálculo da ligação. Utilizou-se as diretrizes e bases de cálculo presentes no Gerdau [4].

As situações de colapso são as possibilidades de rompimento, esmagamento ou rasgamento e cisalhamento de quaisquer elementos da ligação, sejam parafusos, cantoneiras ou perfis metálicos.

3.1 Caso 1: Sem força normal na viga apoiada

Na situação em que não há ocorrência de força normal na viga apoiada, às verificações a seguir devem ser observadas. As variáveis que aparecem em cada equação são descritas na Tabela 1.

A resistência da ligação na situação de colapso por corte dos parafusos, é calculada a partir da fórmula:

$$F_v, R_d = \frac{2 \times 0.4 A_b F_{ub} N_p}{1,35} \quad (1)$$

Devem ser verificadas também as situações de falha que serão descritas a seguir.

Esmagamento e rasgamento nas cantoneiras

Para a condição de esmagamento e rasgamento nas cantoneiras, têm-se duas situações possíveis: esmagamento sem rasgamento e esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e borda.

Para a verificação da resistência da ligação, na conjuntura de colapso por esmagamento sem rasgamento nas cantoneiras, é especificada a fórmula a seguir:

$$F_c, R_d = \frac{2 \times 2.4 d T_c F_{uc} N_p}{1,35} \quad (2)$$

Em uma averiguação da resistência da ligação, na circunstância de colapso por esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e borda nas cantoneiras, utiliza-se a fórmula subsequente:

$$F_c, R_d = \frac{2 \times 1.2 L_f T_c F_{uc} N_p}{1,35} \quad (3)$$

Esmagamento e rasgamento na alma da viga apoiada

Na perspectiva de esmagamento e rasgamento na alma da viga apoiada, existem duas situações concebíveis: esmagamento sem rasgamento e esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e borda.

A apuração da resistência da ligação, com a condição de colapso por esmagamento sem rasgamento na alma da viga apoiada, é realizada com o auxílio da fórmula em destaque:

$$F_c, R_d = \frac{2.4 x d T_w F_u N_p}{1,35} \quad (4)$$

A análise da resistência da ligação, no contexto de colapso por esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e borda na alma da viga apoiada, deve ser realizada por meio da fórmula:

$$F_c, R_d = \frac{1,2 x L_f T_w F_u N_p}{1,35} \quad (5)$$

Cisalhamento da cantoneira

Na alternativa de cisalhamento da cantoneira, há duas situações existentes: escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida.

A aferição da resistência da ligação para a situação de colapso por escoamento da seção bruta na cantoneira, é realizada com a fórmula a seguir:

$$F_v, R_{dc} = \frac{2 \times 0.6 L_c T_c F_{yc}}{1,1} \quad (6)$$

A verificação da resistência da ligação na condição de colapso por ruptura da seção líquida da cantoneira, é efetuada com a seguinte fórmula:

$$F_v, R_{dc} = \frac{2 \times 0.6 [L_c - N_p (dh + 0,2)] T_c F_{uc}}{1,35} \quad (7)$$

Cisalhamento da alma da viga

Para a possibilidade de cisalhamento da alma da viga apoiada é necessário saber quantos recortes a viga possui, e para cada tipo de viga, seja ela sem recorte, com um recorte ou com dois recortes, tem-se duas situações possíveis: escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida.

A apuração da resistência da ligação na condição de colapso por escoamento da seção bruta na viga sem recorte, é feita com a fórmula:

$$F_v, R_{dw} = \frac{0,6 H T_w F_y}{1,1} \quad (8)$$

Na aferição da resistência da ligação com a premissa de colapso por ruptura da seção líquida na viga sem recorte, utiliza-se a fórmula a seguir:

$$F_v, R_{dw} = \frac{0,6 [H - N_p (dh + 0,2)] T_w F_u}{1,35} \quad (9)$$

Para calcular a resistência da ligação para a situação de colapso por rasgamento nas cantoneiras, também denominado *blockshear*, é descrita a fórmula abaixo:

$$F_{r,Rdc} = 2 - \frac{2(0,6 A_{nvc} F_{uc} + A_{ntc} F_{uc})}{1,35} \leq \frac{2(0,6 A_{gvc} F_{yc} + A_{ntc} F_{uc})}{1,35} \quad (10)$$

Em que:

$$\begin{aligned} A_{gvc} &= [(N_p - 1)s + e] t_c \\ A_{nvc} &= A_{gvc} - (N_p - 0,5)(d_h + 0,2)t_c \\ A_{gtc} &= [b_a - g] t_c \\ A_{ntc} &= A_{gtc} - 0,5(d_h + 0,2)t_c \end{aligned} \quad (11)$$

Na análise da resistência da ligação para a circunstância de colapso por rasgamento da alma da viga apoiada para vigas com recorte, também denominado *blockshear*, é usada a seguinte fórmula:

$$F_{r,Rdc} = 2 - \frac{2(0,6 A_{nvw} F_u + A_{ntw} F_u)}{1,35} \leq \frac{2(0,6 A_{gvw} F_y + A_{ntw} F_u)}{1,35} \quad (12)$$

Em que:

$$\begin{aligned} A_{gvw} &= (L_c - 2e + y_a - L_v) t_w \\ A_{nvw} &= A_{gvw} - (N_p - 0,5)(d_h + 0,2)t_w \\ A_{gtw} &= [g - 1,0] t_w \\ A_{ntw} &= A_{gtw} - 0,5(d_h + 0,2)t_w \end{aligned} \quad (13)$$

Verificação da solda das cantoneiras (Somente para LCSP)

Na possibilidade de colapso na solda das cantoneiras, têm-se duas situações possíveis: ruptura da solda e escoamento do metal base junto à solda.

A verificação da resistência da ligação na junção de ruptura da solda, é realizada com a fórmula descrita a seguir:

$$F_{w,Rd} = c \frac{b(solda)}{0,15876} \frac{L_c}{2,54} 4,54 \times 2 \times 0,75 \quad (14)$$

A apuração da resistência da ligação para a situação de escoamento do metal base junto à solda, é realizada através da fórmula abaixo:

$$F_{w,Rd} = c \frac{b(solda)}{0,15876} \frac{L_c}{2,54} 4,54 \times 2 \times 0,8748 \times 0,75 \quad (15)$$

3.2 Caso 2: Com força normal na viga apoiada

Para casos em que exista força normal na viga apoiada, à força normal resistente de cálculo é calculada a partir de cinquenta por cento do valor da resistência cisalhante obtida no caso 1. Sendo assim, considera-se que a parte central da espessura de cada elemento de ligação resistirá exclusivamente à força cortante de cálculo, enquanto que o restante da espessura ficará responsável por resistir exclusivamente aos efeitos da força normal na viga apoiada. As fórmulas para chegar ao valor da força normal resistente de cálculo são descritas abaixo:

$$\begin{aligned}
 V_z &= Q / 2 L_c \\
 t'_c &= V_z / (0,54 f_{yc}) \\
 (V_0)_x &= 0,54 f_{yc} (t_c - t'_c) \\
 (M_0)_z &= 0,225 f_{yc} (t_c - t'_c) (t_c + t'_c) \\
 (M)_z &= [(V)_x (g - t_c - R)] / 2 \\
 \frac{(M)_z}{(M_0)_z} + \left[\frac{(V)_x}{(V_0)_x} \right]^4 &= 1 \\
 N_d &= L_c 2 (V)_x
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Tabela 1. Tabela de símbolos

ϕ = coeficiente de segurança;	$F_{V,R_{dC}}$ = força cisalhante resistente de cálculo nas cantoneiras;
A_p = área bruta da seção do parafuso;	$F_{V,R_{dW}}$ = força cisalhante resistente de cálculo na viga;
A_{gvc} = área bruta do elemento de ligação, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por rasgamento (“blockshear”);	$F_{W,R_{dS}}$ = força resistente de cálculo da solda;
A_{gmv} = área bruta da alma da viga, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por rasgamento (“block shear”);	F_y = limite de escoamento do aço da viga apoiada.
A_{ntc} = área líquida do elemento de ligação, sujeita a tração, para o cálculo do colapso por rasgamento (“blockshear”);	F_{yc} = limite de escoamento do aço do elemento de ligação (cantoneira ou chapa).
A_{ntv} = área líquida da alma da viga, sujeita a tração, para o cálculo do colapso por rasgamento (“block shear”);	F_{yc} = limite de escoamento do aço do elemento de ligação (cantoneira ou chapa);
A_{nvc} = área líquida do elemento de ligação, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por rasgamento (“blockshear”);	L_h = comprimento horizontal do recorte da viga.
A_{nmv} = área líquida da alma da viga, sujeita a cisalhamento, para o cálculo do colapso por rasgamento (“blockshear”);	L_c = comprimento do elemento de ligação (cantoneira ou chapa); comprimento embutido do chumbador;
b = cateto do filete de solda, largura da chapa simples;	LCPP = Ligação por cantoneira parafusada parafusada.
b_a = largura da aba da cantoneira; d = altura do Perfil laminado;	LCSP = Ligação por cantoneira soldada parafusada.
c = comprimento do cordão de solda;	L_f = distância entre a borda do furo e a borda do furo adjacente ou a distância entre a borda do furo e a borda livre;
dh = diâmetro do furo;	L_v = altura do recorte da viga;
e = distância vertical entre furo e borda; excentricidade em placas de base (Md/Nd);	N_p = número de parafusos na alma da viga apoiada ou número de linhas de parafusos.
g = gabarito de furação da cantoneira ou da chapa simples.	s = distância vertical entre furos;
H = altura da viga apoiada;	T_c = espessura do elemento de ligação (cantoneira ou chapa);
F_c, R_d = força de compressão resistente de cálculo;	T_w = espessura da alma da viga apoiada;
F_u = limite de resistência à tração do aço da viga apoiada;	W_1 = módulo de resistência elástico do Perfil da viga com dois recortes;
F_{ub} = limite de resistência à tração do aço do parafuso;	W_1 = módulo de resistência elástico do Perfil da viga com dois recortes;
F_{uc} = limite de resistência à tração do aço do elemento de ligação (cantoneira ou chapa);	W_{2s} = módulo de resistência elástico superior do Perfil com um recorte;
$F_{R,d}$ = força resistente de cálculo;	y_a = distância do furo superior ao topo da viga;
F_{V,R_d} = força cisalhante resistente de cálculo;	

4 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

O programa tem como função a verificação da resistência de uma determinada ligação flexível estabelecida por cantoneiras duplas de abas iguais, podendo ela ser aplicada entre um pilar e uma viga ou entre duas vigas, ambas metálicas. Ele foi desenvolvido na linguagem JAVA® de programação, de modo que o usuário, independente do tipo de ligação (com ou sem força axial e com ou sem solda), tenha de fornecer apenas sete dados de entrada para que a análise da resistência da ligação seja realizada detalhadamente, informando a resistência exata de cada uma das possíveis ocorrências que levarão a ligação à falência. [9,10] Os dados de entrada são: A especificação do aço utilizado no perfil e na cantoneira, bastando selecionar uma das duas opções conforme o fabricante (ASTM A36 ou ASTM A572); a seleção do aço que compõe o parafuso (ASTM A325 ou ASTM A490); a seleção do perfil metálico e do modelo da cantoneira, também conforme o fabricante; e os dois últimos dados, os quais as entradas são as únicas que precisam ser digitadas ao invés de selecionadas, que é o diâmetro do parafuso e o número de parafusos em cada aba da cantoneira. Fornecendo os sete dados de entrada para o programa, basta clicar em "Calcular" para obter toda a análise daquela ligação, seguida por aquela que é considerada a resistência real da ligação. [11]

4.1 Interface do programa

O programa dispõe de várias telas que são exibidas sequencialmente conforme as escolhas do usuário. A tela inicial, demonstrada na Fig. 6, é simplesmente uma breve apresentação do próprio aplicativo, informando os acadêmicos envolvidos, o nome do software e uma prévia sobre a aplicação do mesmo.

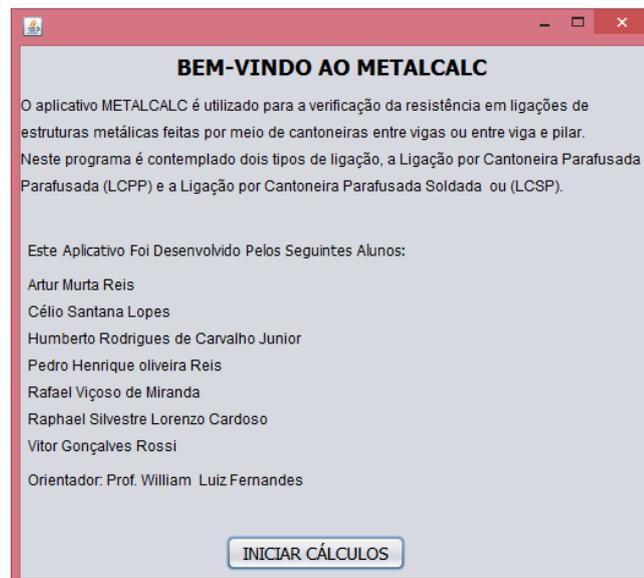


Figura 6. Tela Inicial do Programa: Acervo do autor - 2017

A segunda e terceira janelas vão apresentar as possibilidades de cálculo que o programa realiza. Sendo que na segunda janela, como pode se identificar na Fig. 7, o usuário seleciona se a ligação é realizada por meio de parafusos nas duas abas das cantoneiras (LCPP) ou se em uma das abas a ligação é realizada por meio da solda (LCSP). Já na terceira, identificado pela figura 8, o usuário pode escolher entre a opção de fazer o cálculo com a presença ou ausência de força axial. Caso seja interesse do usuário considerar uma força axial, o programa já a considera com o valor de 50% do valor da força cortante resistente encontrada na ligação, que é o máximo estabelecido por norma.

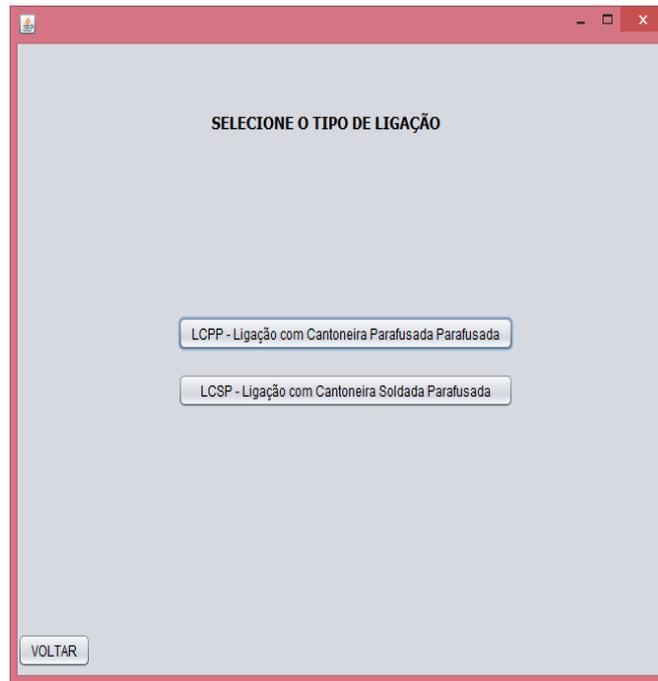


Figura 7. Segunda tela do Programa: Acervo do autor - 2017

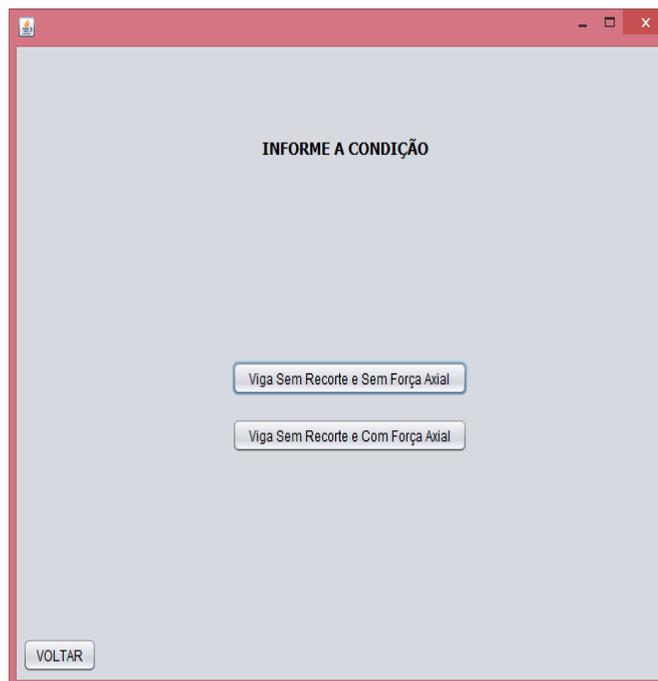


Figura 8. Terceira tela do Programa: Acervo do autor – 2017

Por fim, o programa exibirá sua última tela, que retornará diferentes conferências conforme a combinação das escolhas realizadas nas telas anteriores. Variando assim entre quatro opções: LCPP com Força Axial; LCPP sem Força Axial (Fig. 9); LCSP sem Força Axial e LCSP com Força Axial (Fig. 10). Apesar desta variação na última tela, a parte de entrada de dados se mantém absolutamente a mesma, exatamente com os mesmos sete dados citados acima.

Selecione o aço do Perfil analisado: ASTM A36

Selecione o aço do Parafuso: ASTM A325

Informe qual o diâmetro do Parafuso em milímetros:

Informe o número de parafusos em cada aba da Cantonera:

Selecione o aço da cantoneira: ASTM A36

Selecione o perfil da viga/pilar: W 150 x 13,0

Selecione o modelo da cantoneira utilizada: L 22 X 3,2

CALCULAR

Corte dos Parafusos: <0> KN

Esmagamento sem rasgamento: <0> KN

Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e...: <0> KN

Escoamento da Seção Bruta: <0> KN

Ruptura da Seção Líquida: <0> KN

Esmagamento sem rasgamento: <0> KN

Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e...: <0> KN

Escoamento da Seção Bruta: <0> KN

Ruptura da Seção Líquida: <0> KN

Colapso por Rasgamento das Cantoneras: <0> KN

RESISTÊNCIA FINAL DA LIGAÇÃO: - KN

VOLTAR REINICIAR

Figura 9. Terceira Tela LCPP sem Força Axial: Acervo do autor – 2017

Selecione o aço do Perfil analisado: ASTM A36

Selecione o aço do Parafuso: ASTM A325

Informe qual o diâmetro do Parafuso em milímetros:

Informe o número de parafusos em cada aba da Cantonera:

Selecione o aço da cantoneira: ASTM A36

Selecione o perfil da viga/pilar: W 150 x 13,0

Selecione o modelo da cantoneira utilizada: L 22 X 3,2

CALCULAR

Corte dos Parafusos: <0> KN

Esmagamento sem rasgamento: <0> KN

Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e...: <0> KN

Escoamento da Seção Bruta: <0> KN

Ruptura da Seção Líquida: <0> KN

Esmagamento sem rasgamento: <0> KN

Esmagamento com rasgamento entre dois furos ou entre um furo e...: <0> KN

Escoamento da Seção Bruta: <0> KN

Ruptura da Seção Líquida: <0> KN

Colapso por Rasgamento das Cantoneras: <0> KN

Ruptura da Solda: <0> KN

Escoamento do Metal Base Junto à Solda: <0> KN

Cortante Resistente de Cálculo: <0> KN

Normal Resistente de Cálculo: <0> KN

VOLTAR REINICIAR

Figura 10. Tela LCSP com Força Axial: Acervo do autor – 2017

Entre as variações da última tela, é necessário fazer algumas observações para entender onde exatamente elas se modificam. Primeiramente o que diferenciam as telas de conferência de LCPP da LCSP é simplesmente o acréscimo de duas análises nas situações onde a solda é presente, que são o cálculo da resistência à ruptura da solda e o escoamento do metal base junto à solda [12]. Já o que diferencia as telas com ou sem força axial, é a presença da Normal Resistente de Cálculo nas telas com força axial.

4.2 Exemplos de validação do programa

Foram retirados exemplos da literatura e calculados através do software e manualmente para a proximidade dos resultados e validar o código do programa. No primeiro exemplo, retirado Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados [4], o perfil utilizado da viga/pilar principal foi o

W250x17,9 sem recortes, aço ASTM A572, cuja ligação feita foi parafusada em ambas as abas da cantoneira (LCPP), em que não há a presença de força axial. Foram utilizados 4 parafusos de diâmetro de 19mm de aço ASTM A325 [14]. O modelo utilizado da cantoneira foi L 76x76x6,4 de aço ASTM A36.

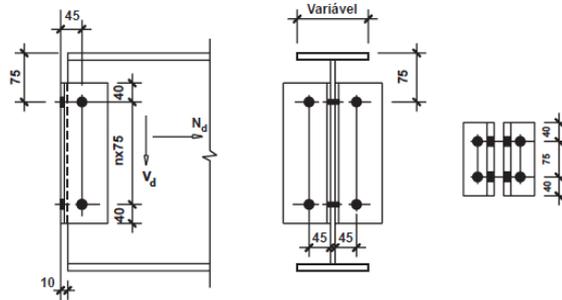


Figura 11. Representação Gráfica para o 1º exemplo: GERDAU – 2012

Resistência final da ligação encontrada pelo manual da Gerdau: 146 KN

Resistência final encontrada pelo aplicativo: 145,92 KN

Porcentagem de erro: 0,0548%

No segundo exemplo, extraído Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados [4], utilizou o perfil W610x174 na viga/pilar principal sem recortes, aço ASTM A572, o qual a ligação realizada foi parafusada em uma aba e soldada em outra aba da cantoneira (LCSP), com ausência de força axial. Foram empregados 12 parafusos de diâmetro de 22mm de aço ASTM A325[13]. A cantoneira utilizada foi a L 102x102x8,0 de aço ASTM A36.

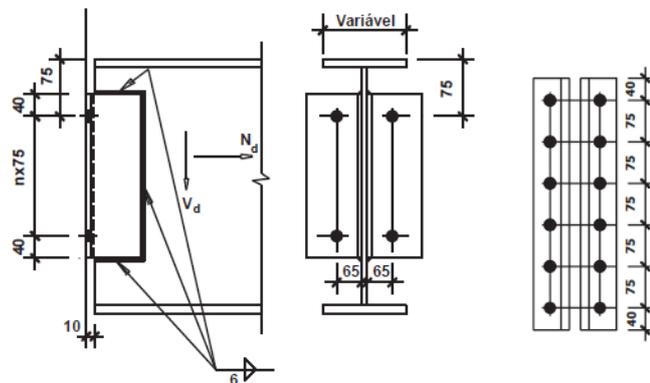


Figura 12. Representação Gráfica para o 2º exemplo: GERDAU – 2012

Resistência final da ligação encontrada pelo manual da Gerdau: 852 KN

Resistência final encontrada pelo aplicativo: 860,34 KN

Porcentagem de erro: 0,98 %

Para o terceiro exemplo, encontrado no Guia Prático para Estruturas com Perfis Laminados [4], o perfil usado na viga/pilar principal foi o W150x24 sem recortes, aço ASTM A572, com a ligação parafusada em ambas as abas da cantoneira (LCPP), e com a presença de força axial. Utilizou-se 4 parafusos de diâmetro de 16mm de aço ASTM A325 [13]. O modelo de cantoneira lidado foi o L 76x76x6,4 de aço ASTM A36.

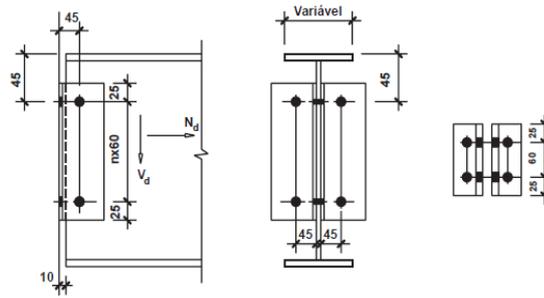


Figura 13. Representação Gráfica para o 3º exemplo: GERDAU – 2012

Resistência final da ligação encontrada pelo manual da Gerdau: 28 KN

Resistência final encontrada pelo aplicativo: 28,21 KN

Porcentagem de erro: 0,75 %

5 CONCLUSÃO

Ao desenvolver o aplicativo, utilizou-se as diretrizes e bases de cálculo presentes no manual da Gerdau, e além disso, foi embutido no aplicativo, as tabelas de perfis e tabelas de cantoneiras da própria Gerdau. Os três exemplos analisados para validação do código foram retirados do próprio manual. Portanto, os dados de entrada do aplicativo, nestes casos, foram, exatamente, os mesmos dados utilizados no cálculo presente no manual, como o mesmo perfil laminado, a mesma cantoneira e os demais dados. Com isso, nota-se que os três exemplos apresentaram resultados bastante satisfatórios, com a porcentagem de erro do aplicativo em relação ao manual variando em no máximo 0,98%. Ainda assim, essa diferença é maior que a real, pelo fato de o manual apresentar os valores de maneira arredondada, enquanto que foram consideradas duas casas decimais nos resultados do aplicativo.

Analisando o desempenho geral do aplicativo, conclui-se que os resultados finais são satisfatórios e que o programa atende a proposta desejada por possuir uma base de cálculo consistente. É uma ferramenta versátil que pode auxiliar na segurança de obras metálicas. Além disso, retorna todos os valores dos parâmetros de colapso, e não apenas o menor valor resistente. E por ter sido desenvolvido em JAVA, possibilita a utilização em vários meios e sistemas operacionais, oferecendo auxílio a diversos profissionais da engenharia e áreas afins, tanto na verificação da etapa de projeto quanto na investigação durante a execução, em diversas obras de engenharia correntes.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Inaba and C. M. C. S. Coelho. A Evolução da Construção em Aço no Brasil. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticias-detalhes.php?cod=7074>>. Acesso em 14 ago. 2016.
- [2] I. A. Brasil. Ligações em Estruturas Metálicas. Manual de Construção em Aço. *Revisão Alexandre Luiz Vasconcelos*. Rio de Janeiro, 2017.
- [3] B. M. Campolina. Grandes Construções. Disponível em: <http://www.grandesconstrucoes.com.br/br/index.php?option=com_conteudo&task=viewMateria&id=1972>. Acesso em 03 out. 2016.
- [4] L. E. A. Gerdau. Guia prático para estruturas com perfis laminados. 2012.
- [5] A. B. N. T. Nbr8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- [6] A. B. Informa. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/siderurgiaemfoco/Aco_Brasil_Informa_Set15.pdf>. 30º ed. Acesso em 15 set. 2016.

- [7] A. L. Vasconcellos. Ligações em Estruturas de Aço. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/46112/>>. Acesso em 28 jan. 2018.
- [8] W. Pfeil and M. Pfeil. Estruturas de Aço - Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800.2008.8 ed. Rio de Janeiro, 2009.
- [9] I. Lagartos and J. M. Redondo and F. Ortin. The Journal of Systems and Software Efficient runtime metaprogramming services for Java. *The Journal of Systems & Software*, v. 153, p. 220–237, 2019.
- [10] A. Ramírez and J. R. Romero and C. G. Martínez and S. Ventura. Engineering Applications of Artificial Intelligence JCLEC-MO : A Java suite for solving many-objective optimization engineering problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, v. 81, n. February, p. 14–28, 2019.
- [11] D. B. Claro and SOBRAL, J. B. Mangueira. Programação em JAVA Florianópolis, 2008.
- [12] I. H. Bellei and F. O. Pinho and M. O. Pinho. Edifícios de Múltiplos Andares em Aço. 2 ed. São Paulo, 2008.
- [13] M. C. Gerdau. Resultados da Gerdau no 1º trimestre. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/pt/media-center/noticias/resultados-da-gerdau-no-1-trimestre>>. Acesso em: 29 de mai. 2017