

# Análise numérica em uma ligação de treliça de madeira com chapa metálica dentada (CMD)

## Numerical Analysis of a Gang-Nail truss connector plate for timber joint

L. L. P. Cordeiro<sup>1</sup> | L. C. Paiva<sup>1</sup> | M. T. Braz-César<sup>2</sup> | A. M. V. Paula<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Aluno de Mestrado em Engenharia da Construção, ESTiG - Instituto Politécnico de Bragança

<sup>2</sup>Professor Adjunto, ESTiG - Instituto Politécnico de Bragança

### resumo

A utilização da madeira como elemento estrutural dá-se, em sua grande maioria, na execução de treliças de madeira composta pela junção de diferentes barras de madeira, onde é necessária a utilização de elementos de ligação. Dentre os elementos de ligação utilizados, o presente trabalho visa estudar as ligações em chapas metálicas dentadas (CMD), que consistem em duas chapas metálicas perfuradas com dentes estampados que são aplicados nos dois lados da ligação, formando assim uma ligação plana, ou seja, sem a necessidade da sobreposição das barras. O dimensionamento dessas ligações necessita, primeiramente, de uma modelagem para a transposição dos esforços para o centro de gravidade de cada área de corte, seguida da transposição para as linhas corte. O presente trabalho tem como objetivo o estudo e comparação de modelos analíticos de dimensionamento das linhas de corte através de modelagens da ligação no software computacional Midas®.

Palavras-chave:

### abstract

Wood is mostly used as structural element in the manufacturing of wooden trusses. To connect the timber bars, it is necessary to use connectors. Among the types of mechanical connectors used, the present work aims at studying the toothed metal plate (CMD) connections, consisting of two perforated plates with stamped teeth that are attached to both sides of the joint, thus forming a flat connection, i.e., without the need for the bars overlapping. The design of these connections requires, first, a modeling for the transposition of the efforts to the center of gravity of each cutting area, followed by the transposition to the shear lines. The present work has as objective the study and comparison of analytical models for the dimensioning of the shear lines with link modeling in the Midas® computer software.

Keywords:

# 1- INTRODUÇÃO

A madeira, juntamente com o betão e o aço, é um dos materiais estruturais mais utilizados na construção civil, sendo o mais antigo que ainda hoje é utilizado, tendo em vista que quando os homens saíram das cavernas, o material mais moldável e abundante era a madeira. Hoje, apesar do conhecimento que se tem de suas propriedades, a sua utilização na construção civil ainda não é culturalmente aprovada, mesmo apresentando vantagens quando comparadas com o sistema mais utilizado que é o betão armado.

A madeira possui uma resistência paralela a suas fibras semelhante à do concreto armado, embora seja menos resistente à compressão. No entanto, quando levada em consideração a sua densidade é possível perceber a vantagem de sua utilização em estruturas mais longas ou altas, tendo em vista que nestes casos a principal carga imposta no elemento é o peso próprio. Isso faz com que seja uma boa opção para utilização em estruturas onde a principal carga é o seu peso próprio, como por exemplo treliças de telhados, e algumas pontes (RAMAGE et al., 2017).

Em projetos de estruturas de madeira é necessária a ligação entre os elementos, pois além de garantir a possibilidade da utilização de elementos de maiores dimensões, é capaz de realizar a transmissão dos esforços recorrentes da aplicação das cargas. Estas ligações podem ser dadas de maneira tradicional, como se têm feito desde os primórdios com a utilização apenas da madeira em si através da execução de entalhes, ou também com o auxílio de elementos e chapas metálicas (Almeida, 2012)

De entre os elementos de ligação metálicos utilizados para a junção de elementos de madeira, aqui destaca-se a chapa metálica dentada (*punched metal plate fastener* ou *nail plate*), figura 1, que consiste em uma placa metálica perfurada com dentes estampados com o auxílio de uma prensa hidráulica (EN 1075, 2000).

No tocante ao dimensionamento das chapas metálicas dentadas, a maior barreira encontrada é a elaboração de uma modelagem que mais fielmente represente a distribuição real dos esforços para as linhas de ruptura das chapas para uma melhor análise do comportamento em caso de ruptura.

O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de modelagens numéricas para efeitos de comparação com métodos analíticos dos esforços resultantes em linhas de ruptura para o dimensionamento de ligações do tipo CMD para estruturas de treliças de madeira pré-fabricada em um estudo de caso de ligações do tipo T, que é composta por uma barra horizontal, denominada banzo inferior e duas diagonais.

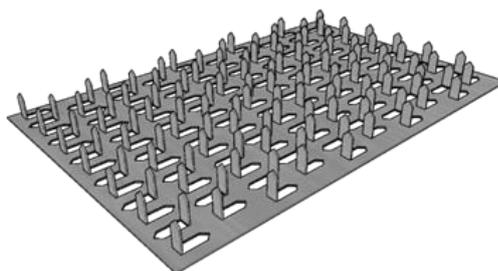


Fig. 1 | Chapa metálica dentada

Serão analisados os resultados obtidos através da análise analítica e duas modelagens realizadas no software computacional *Midas*. No *Midas* será realizada uma modelagem com aplicação da carga no centro geométrico da área efetiva do nó em estudo com a distribuição para a linha de ruptura realizada através de ligações rígidas (*rigid link*) e outra com a aplicação dos esforços transpostos no centro da linha de ruptura, modelada como sendo um elemento rígido.

## 2-METODOLOGIA

Para o presente estudo, foi selecionado um estudo de caso em que se têm como informações iniciais as dimensões de uma ligação de um banzo inferior com duas barras diagonais, figura 2, de uma treliça e seus devidos esforços atuantes.

Os esforços solicitantes utilizados para o dimensionamento das linhas de ruptura das ligações são obtidos através de uma modelagem no software computacional *Autodesk® Robot™*, onde se utiliza a modelagem descrita na Norma Francesa DTU 31.3 (ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION, 2013).

Esta modelagem consiste na distribuição dos esforços nos centros geométricos das áreas efetivas da ligação através da interligação entre eles por elementos fictícios, como mostra a figura 3. Essa modelagem tem como intuito a simulação da rigidez dada através da cravação dos dentes em uma parcela de área em cada elemento que compõe a ligação.

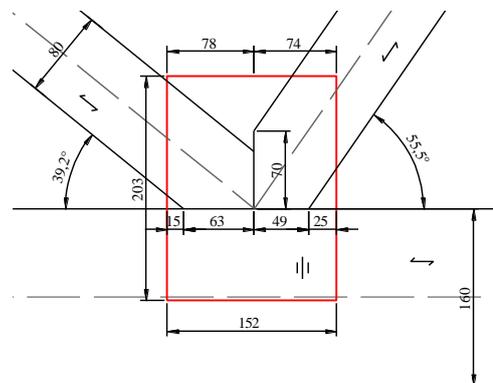


Fig.2 | Dimensões da ligação (mm)

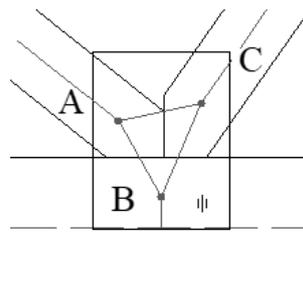


Fig.3 | Modelagem dos nós da ligação

Para o dimensionamento da ligação em estudo, é necessária a análise de quatro possíveis linhas de ruptura, sendo elas:

- Linha de ruptura horizontal na ligação entre o elemento estrutural inferior B e os dois elementos estruturais superiores A e C;
- Linha de ruptura horizontal na ligação entre o elemento A e o elemento B;
- Linha de ruptura horizontal na ligação entre o elemento C e o elemento B;
- Linha de ruptura vertical na ligação entre o elemento A e o elemento C.

Para fins de validação das modelagens realizadas será estudada a linha de ruptura horizontal de ligação entre o elemento B e os dois superiores A e C, tendo em vista que no método analítico de distribuição dos esforços é a única não hiperestática, já que as demais são formadas por linhas compostas e a determinação dos esforços resultantes dependem da transposição dos esforços de um nó em outro.

## 2.1. Método analítico

O método analítico consiste primeiramente na transposição dos esforços aplicados no centro geométrico da área efetiva da ligação para o centro da linha de contato entre os elementos de madeira, figura 4.

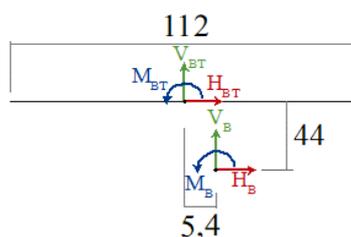


Fig.4 | Excentricidade dos esforços aplicados no nó

Assim, os esforços aplicados no nó e suas respectivas transposições para o centro da linha de contato são:

$$H_B = 4,00 \text{ kN}$$

$$H_{BT} = 4,00 \text{ kN}$$

$$V_B = 0,002 \text{ kN}$$

$$V_{BT} = 1,85 \text{ kN}$$

$$M_B = 1,85 \text{ kN.m}$$

$$M_{BT} = 0,206 \text{ kN.m}$$

Assim, distribuindo os esforços ao longo da linha de ruptura, obtém-se as tensões apresentadas na figura 5.

## 2.2. Simulação 1: Ligação Rígida

Para modelagem da ligação no software computacional, é necessário um estudo dos elementos estruturais a serem utilizados para uma melhor representação dos efeitos que ocorrem na distribuição dos esforços no modelo real.

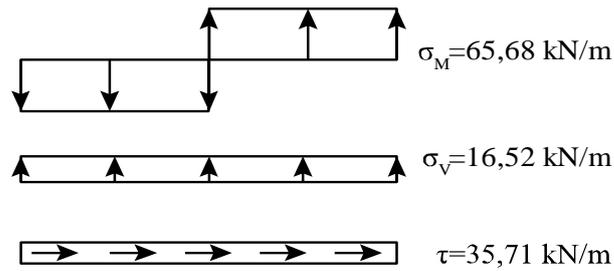


Fig.5 | Diagrama de tensões - Modelo analítico

Portanto, foram adotadas algumas condições de contorno, como recursos de ligação rígida (*rigid link*), buscando assim simular a rigidez e não deformação do plano onde ocorre o contato entre a chapa metálica dentada e o elemento de madeira e também o recurso de ligação elástica (*elastic link*) para simular a resistência à deformação da linha de ruptura (MIDAS GEN).

Na simulação em questão, a linha de ruptura foi dividida em 16 partes de iguais dimensões, o que já se mostrou o suficiente para uma boa percepção da distribuição dos esforços. Cada nó resultante da divisão da barra necessitou ser interligado através de um *rigid link* com o nó que representa o ponto de aplicação dos esforços no centro da área efetiva da ligação. Esta função faz com que alguns graus de liberdade de nós selecionados sejam restringidos a um nó mestre (MIDAS GEN). Além disso, para a simulação da resistência elástica da linha de ruptura, é necessária a utilização de ligações elásticas (*elastic link*) em ambas as direções, verticais e horizontais, figura 6.

Após a execução da simulação, os resultados dos esforços distribuídos obtidos ao longo da linha de ruptura foram os apresentados na figura 7.

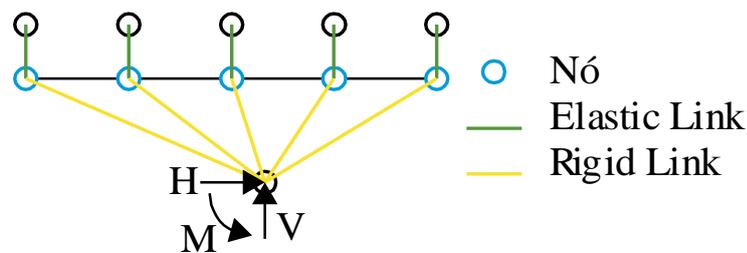


Fig.6 | Representação da Simulação 1: Rigid Link

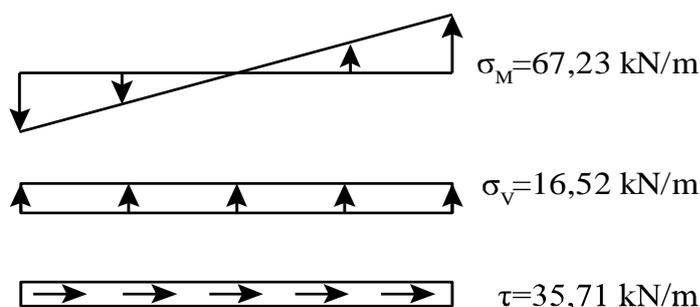


Fig.7 | Diagrama de tensões - Rigid Link

## 2.3. Simulação 2: Barra Rígida

Buscando executar uma simulação numérica utilizando a transposição dos esforços atuantes para o centro da linha de ruptura, assim como se faz no método analítico, decidiu-se realizar a modelagem da linha de ruptura como sendo uma barra rígida, evitando assim deformações na mesma e dando atenção apenas às reações de apoio nos nós.

O elemento rígido no software *Midas* é definido por uma rigidez muito superior aos demais elementos, de forma que a deformação relativa entre os nós que são conectados por um elemento rígido é nula (rotação constante).

Para essa simulação a barra foi novamente dividida em 16 partes de igual dimensão e os esforços foram transpostos para o centro da barra, como está representado na figura 8.

Como resultado da simulação com barra rígida, o resultado dos esforços resultantes foram os que são apresentados na figura 9.

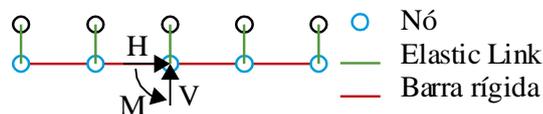


Fig.8 | Representação da Simulação 2 – Barra Rígida

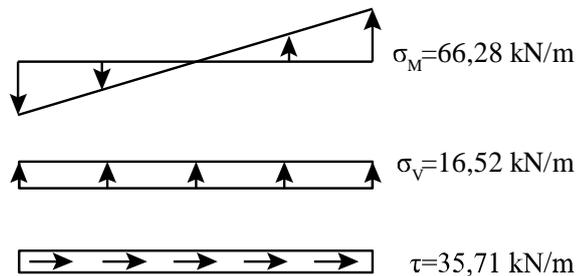


Fig.9 | Diagrama de tensões – Barra Rígida

Para ambos os modelos numéricos, foram utilizados os seguintes coeficientes de mola:

$$K_{\phi} = 103,5 \text{ kn.m}$$

$$K_x = 425,6 \text{ kN/cm}$$

$$K_y = 425,6 \text{ kN/cm}$$

## 2- ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a análise dos valores obtidos através dos diferentes métodos descritos, realiza-se uma sobreposição dos diagramas de esforços resultantes em cada caso. Com a finalidade de promover uma comparação direta entre os resultados obtidos no método analítico, os resultados numéricos foram tratados como linear nos pontos intermédios, figura 10.

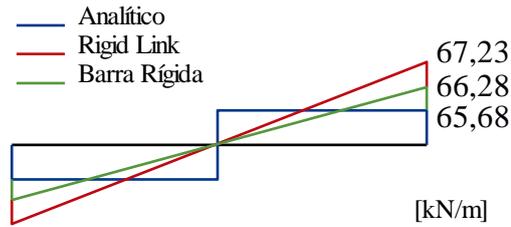


Fig.10 | Comparação de resultados

Apesar da distribuição de esforços ter resultados semelhantes nos extremos e, nomeadamente, em seus valores máximos absolutos, nota-se uma diferença nos valores intermédios, resultado da configuração linear das molas, ao passo que no modelo analítico a deformação é plástica.

### 3- CONCLUSÕES

Foram realizadas as modelagens da ligação proposta e com os resultados dos esforços apresentados, pôde-se averiguar cada método observado gera um resultado distinto, numericamente e também qualitativamente. Tendo em vista que as simulações numéricas realizam uma abordagem elástica levando em consideração o deslocamento das linhas de ruptura, enquanto os métodos manuais realizam uma análise mais plástica mais simplificada.

Com os resultados dos três modelos apresentados, foi necessário comparar a distribuição de esforços nas linhas de ruptura no centro geométrico da linha e posteriormente linearizar os esforços, afim de validar o equilíbrio entre as forças obtidas por diferentes abordagens.

A premissa inicial de que a distribuição dos esforços segue uma lei plástica não foi verificada pelo método numérico. A diferença entre os resultados sugere ainda que ainda existe a necessidade de analisar outros métodos de cálculo, que podem ainda ser suportados por análises experimentais, afim de validar qual modelo descreve com mais precisão o real funcionamento da ligação.

### REFERÊNCIAS

- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. NF EN 14250:2010 - Timber structures - Product requirements by prefabricated structural members assembled with punched metal plate fasteners.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 1052:2008 - Design of timber structures - General rules and rules for buildings.

European Committee for Standardization, “EN 1075 - Timber structures - Test methods - joints made with punched metal plate fasteners structures,” 2000.

F. Almeida, “A madeira como material estrutural - Projeto da estrutura de um edifício,” 2012.

MIDAS GEN. Manual M Gen - Elastic link. Disponível em:

<[http://manual.midasuser.com/EN\\_TW/Gen/791/Start/04\\_Model/06\\_Boundaries/elastic\\_Link.htm](http://manual.midasuser.com/EN_TW/Gen/791/Start/04_Model/06_Boundaries/elastic_Link.htm)>. Acesso em: 10 jul. 2019.

MIDAS GEN, “Manual Midas Gen - Rigid Link.” Disponível em:

<[http://manual.midasuser.com/EN\\_Common/Gen/865/Start/04\\_Model/06\\_Boundaries/Rigid\\_Link.htm](http://manual.midasuser.com/EN_Common/Gen/865/Start/04_Model/06_Boundaries/Rigid_Link.htm)>. Acesso em 10-jul-2019.

RAMAGE, M. H. et al. The wood from the trees: The use of timber in construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 68, n. October 2015, p. 333–359, 2017.

THE EUROPEAN UNION PER REGULATION. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings Eurocode.