

## ANÁLISE DOS DETALHES CONSTRUTIVOS DE LIGAÇÕES EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

HUGO RICARDO MORAES<sup>1</sup>, CASSIA VANESSA ALBUQUERQUE DE MELO<sup>2</sup> e LUCIANO BARBOSA DOS SANTOS<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Civil, UFAL, Maceió-AL, hugo.ricardo@ctec.ufal.br;

<sup>2</sup>DSc. em Ciências dos Materiais, Profa. Adjunta Engenharias, UFAL, Maceió-AL, cassiamelo@ctec.ufal.br

<sup>3</sup>DSc. em Engenharia, Prof. Titular Engenharias, UFAL, Maceió-AL, lbsantos@ctec.ufal.br;

**RESUMO:** O documento aborda as ligações mecânicas em estruturas de madeira conforme as normas ABNT NBR 7190 e Eurocode 5. Detalham-se conectores como pinos metálicos, cavilhas, anéis metálicos, chapas denteadas e entalhes. O cálculo fundamenta-se na verificação de estados limites últimos e no emprego de coeficientes de modificação para ajustar as propriedades da madeira conforme a umidade e a duração do carregamento. Além disso, estabelecem-se requisitos de pré-furação e espaçamentos geométricos para evitar falhas por embutimento, flexão dos pinos metálicos e fendilhamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estrutura de madeira, Ligações, Detalhes construtivos, ABNT 7190

## ANALYSIS OF CONSTRUCTION DETAILS OF CONNECTIONS IN TIMBER STRUCTURES

**ABSTRACT:** The document addresses the design of mechanical joints in timber structures in accordance with the ABNT NBR 7190 and Eurocode 5 standards. Connectors such as metal pins, wooden dowels, metallic rings, punched metal plates, and notches are detailed. The calculation is based on the Ultimate Limit State verification, utilizing modification factors to adjust strength according to moisture conditions and load duration. Furthermore, pre-drilling requirements and geometric spacing criteria are established to prevent failures caused by embedment, fastener bending, and splitting.

**KEYWORDS:** Timber structures, Connections, Construction details, ABNT NBR 7190

## INTRODUÇÃO

O dimensionamento de estruturas de madeira exige alinhamento com normativas técnicas vigentes, como a ABNT NBR 7190-1 (2022), visando assegurar a integridade e o bom desempenho. Nesse contexto, as ligações mecânicas desempenham papel crucial na transmissão e distribuição de esforços entre as peças estruturais (DIAS et al., 2019). Além disso, o alinhamento com normas internacionais, a exemplo do Eurocode 5, moderniza os parâmetros de segurança e os critérios de projeto.

O mercado emprega variados tipos de ligações, incluindo pinos metálicos, cavilhas, anéis metálicos e chapas com dentes estampados (ABNT, 2022). O dimensionamento seguro fundamenta-se na condição de que a resistência de cálculo seja superior às solicitações atuantes, sendo corrigida por coeficientes de modificação (CRIADO et al., 2024). Dessa forma, a análise criteriosa desses elementos previne falhas por embutimento e flexão, assegurando o desempenho global da estrutura (CRIADO et al., 2024).

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho fundamenta-se em uma revisão técnica aprofundada das normas nacionais e internacionais aplicáveis às estruturas de madeira, tendo como principal referência a ABNT NBR 7190-1 (2022), que estabelece os requisitos gerais para o dimensionamento dessas estruturas com

base no Método dos Estados Limites (MEL). A análise é complementada pela ABNT NBR 7190-5, que trata dos ensaios de ligações mecânicas, e pela correlação com as diretrizes do Eurocode 5 (EN 1995-1-1), utilizado como referência para a modernização dos critérios brasileiros de dimensionamento e segurança, especialmente no que se refere às classes de resistência e aos requisitos de durabilidade.

As análises de detalhes construtivos e os roteiros de cálculo apoiaram-se ainda em obras consagradas da literatura técnica, como Moliterno (2021), com soluções práticas para telhados, Calil Junior e Molina (2010), com exemplos de cálculo de sistemas estruturais modernos, e Dias et al. (2019), que embasaram os conceitos de mecânica da madeira e estabilidade em uma abordagem sistêmica que vai da caracterização do material à verificação da segurança das ligações e contraventamentos, concentrando-se o procedimento analítico na aplicação dos coeficientes de modificação e de ponderação, de modo a garantir que o dimensionamento atenda adequadamente às classes de carregamento e umidade previstas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Tipos de ligações

Os pinos metálicos são ligações mecânicas fundamentais em estruturas de madeira, transmitindo esforços por flexão do elemento e embutimento na madeira. Segundo a ABNT NBR 7190-1 (2022), o grupo inclui pregos, parafusos passantes com porcas e arruelas, parafusos de rosca soberba, autoatarraxantes e pinos ajustados, com diâmetros mínimos normativos de 3,0 mm e 9,5 mm, respectivamente, ver Figura 1. A literatura técnica e o Eurocode 5 os classificam como conectores tipo cavilha (dowel-type fasteners), amplamente usados em treliças por sua praticidade e capacidade de absorver cisalhamento.

Figura 1: Principais tipos de pinos metálicos



Fonte: Autores, 2026.

As cavilhas de madeira são alternativa viável aos pinos metálicos, ver Figura 2, com transmissão de esforços por flexão dos pinos metálicos e embutimento na madeira. Segundo Dias et al. (2019), oferecem compatibilidade de material e estética, favorecendo a homogeneidade visual da estrutura. Recomenda-se sua confecção em madeiras de alta densidade (classe C60) ou de menor densidade impregnadas com resinas, com diâmetro mínimo de 16 mm e instalação por cravação sob pressão em orifícios pré-furados, cuja eficiência a longo prazo depende da variação de umidade do material.

Figura 2: Elementos de fixação do tipo cavilha de madeira.

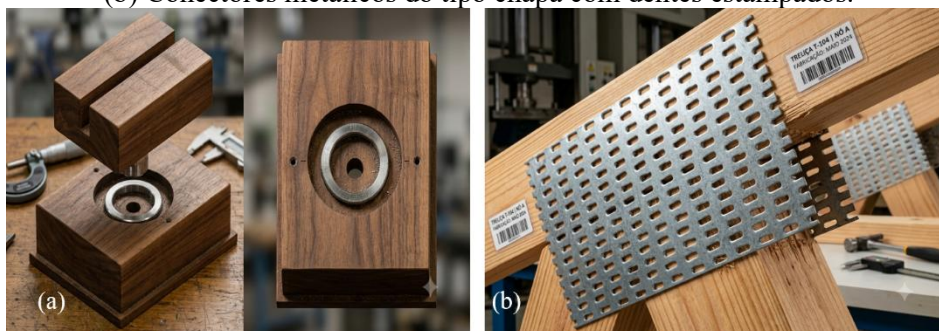


Fonte: Autores, 2026.

Os anéis metálicos são conectores de alta capacidade de carga, transmitindo esforços por grandes áreas de contato entre as peças de madeira, ver figura 3 (a). Segundo a ABNT NBR 7190-1 (2022), sua instalação exige ranhuras circulares prévias, garantindo o ajuste do diâmetro efetivo do anel. A resistência característica considera o cisalhamento longitudinal da madeira, a profundidade de penetração e o diâmetro interno do conector, devendo a normativa brasileira e o Eurocode 5 serem observados quanto a espaçamentos mínimos e distâncias às bordas, para mitigar fendilhamento e garantir o desempenho estrutural.

As Chapas com Dentes Estampados (CDE), Figura 3 (b), são fundamentais na industrialização de treliças, transmitindo esforços por amplas áreas de contato via dentes estampados. Conforme a ABNT NBR 7190-1 (2022), o fabricante garante a resistência de cálculo, enquanto o executor assegura a cravação integral e perpendicular dos dentes com prensas hidráulicas, exigindo-se precisão no corte da madeira (folgas máximas de 1 mm) e verificação de escoamento e cisalhamento do aço galvanizado.

Figura 3: (a) Elementos de fixação do tipo anel metálico, (b) Conectores metálicos do tipo chapa com dentes estampados.



Fonte: Autores, 2026.

O dimensionamento dessas ligações verifica três estados de ruptura: arrancamento dos dentes (dependente da densidade da madeira e orientação das fibras), escoamento da chapa e cisalhamento do metal. Ensaios indicam que a resistência ao arrancamento é proporcional à densidade da madeira, exigindo prensas de maior capacidade para materiais mais densos. Recomenda-se ainda que as emendas de banzos sejam posicionadas em pontos de menores esforços axiais, evitando-se tramos adjacentes, a fim de preservar a integridade global do sistema treliçado.

## Um resumo sobre critérios de dimensionamentos de ligações

Segundo Criado et al (2024), o dimensionamento de estruturas de madeira fundamenta-se na verificação da segurança em relação aos estados limites últimos (ELU), que são atingidos quando ocorre a deficiência de resistência da própria madeira ou dos elementos de ligação. A condição básica de segurança estabelece que o valor de cálculo do esforço resistente da ligação ( $R_d$ ) deve ser maior ou igual ao valor de cálculo das solicitações atuantes ( $S_d$ ), conforme a expressão  $R_d \geq S_d$ . O esforço resistente de cálculo ( $R_d$ ) é obtido a partir do valor característico da resistência da madeira ( $R_k$ ), corrigido por coeficientes de modificação ( $K_{mod}$ ) e ponderado por um coeficiente de minoração das propriedades de resistência da ligação ( $\gamma_{lig}$ ), que assume o valor padrão de 1,40, e das características e propriedades dos elementos que integram a ligação. A fórmula geral para este cálculo é dada pela equação 01.

$$R_d = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot \frac{R_k}{\gamma_{lig}} \quad \text{eq. 01}$$

### Coeficientes de modificação

Os coeficientes de modificação ajustam a resistência da madeira conforme as condições de uso da estrutura. O coeficiente  $K_{mod1}$  considera a duração do carregamento e o tipo de produto de madeira, variando entre 0,30 e 1,10, sendo maior para ações de curta duração. Já o coeficiente  $K_{mod2}$  leva em conta a umidade do ambiente, com valores entre 0,70 e 1,00, refletindo a redução da resistência da madeira em condições mais úmidas.

### Dimensionamento de ligações por entalhe

Neste tipo de ligação, os esforços são transmitidos por contato direto entre as peças, fazendo com que a madeira trabalhe predominantemente à compressão, por vezes associada ao cisalhamento. O dimensionamento deve prever a resistência ao embutimento e verificar o cisalhamento na região da ligação, especialmente em nós de apoio de treliças. Quando a compressão ocorre de forma inclinada em relação às fibras, utiliza-se a fórmula de Hankinson para determinar a resistência de cálculo ( $f_{c0,d}$ ), baseada nas resistências paralela ( $f_{c0,d}$ ) e perpendicular às fibras ( $f_{c90,d}$ ). Detalhes como a dimensão do entalhe ( $e$ ) e da folga ( $f$ ) são cruciais para garantir que as tensões não excedam os limites do material.

### Ligações por pinos metálicos

A resistência das ligações com pinos metálicos deve ser determinada, preferencialmente, por ensaios laboratoriais conforme a ABNT NBR 7190-5. Na ausência desses ensaios, podem ser empregados modelos analíticos que consideram a resistência das diferentes seções de corte. Em ligações com vários pinos alinhados, aplica-se o conceito de número efetivo de pinos ( $n_{ef}$ ), reduzindo-se a contribuição dos pinos excedentes para representar a distribuição não uniforme dos esforços. A resistência da ligação é definida pelo menor valor obtido entre os modos de falha previstos em norma, associados ao embutimento da madeira, à flexão do pino e aos efeitos de confinamento.

O dimensionamento dessas ligações também requer o atendimento de critérios geométricos para prevenir o fendilhamento da madeira. Para isso, devem ser respeitados os espaçamentos mínimos entre conectores e as distâncias às extremidades e bordas, definidos em função do diâmetro do pino e da direção da força em relação às fibras. Além disso, a pré-furação é obrigatória, com diâmetros específicos para madeiras coníferas, folhosas e parafusos passantes, garantindo a integridade da ligação e o desempenho estrutural.

## Ligações com anéis metálicos e chapas de aço

Para ligações com anéis metálicos, a resistência característica depende da área de cisalhamento longitudinal da madeira e da profundidade de cravação do anel. O cálculo considera o diâmetro interno do anel e a resistência ao cisalhamento paralelo da madeira ( $f_{v0,K}$ ). Já nas ligações com chapas de aço, a espessura da chapa classifica-a como "fina" ( $t_s \leq 0,5d$ ) ou "grossa" ( $t_s \geq d$ ), influenciando diretamente as fórmulas de resistência ao embutimento e flexão do pino.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que o dimensionamento adequado das ligações mecânicas em estruturas de madeira — englobando pinos metálicos, cavilhas, anéis e chapas denteadas — é indispensável para assegurar a segurança no estado limite último (ELU), alinhando-se à ABNT NBR 7190-1. A aplicação criteriosa dos coeficientes de modificação ( $K_{mod1}$  e  $K_{mod2}$ ) garante que a resistência de cálculo seja superior às solicitações atuantes ( $R_d \geq S_d$ ), considerando as variações de umidade e tempo de carregamento. Ademais, a observância dos requisitos geométricos e de pré-furação, em consonância com diretrizes internacionais como o Eurocode 5, previne falhas por embutimento, flexão e fendilhamento, assegurando a estabilidade global do sistema.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-1**: Projeto de estruturas de madeira – Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 81 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7190-5**: Projeto de estruturas de madeira – Parte 5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 7 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1995-1-1**: Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004. 124 p.

CALIL JUNIOR, Carlito; MOLINA, Julio Cesar (ed.). **Coberturas em estruturas de madeira**: exemplos de cálculo. 1. ed. São Paulo: Pini, 2010.

CRIADO, Tayla Castilho *et al.* **Ligações para estruturas de madeira**: dimensionamento e detalhamento. [S. l.]: [s. n.], 2024. Cap. 07. DOI 10.37885/240917631.

DIAS, Antonio Alves *et al.* **Estruturas de madeira**: projetos, dimensionamento e exemplos de cálculos. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. Revisão de Reyolando Manoel L. R. da Fonseca Brasil. 4. ed. rev. São Paulo: Blucher, (2010).