



Planilha eletrônica para o dimensionamento de estruturas de madeira de coberturas em duas águas de acordo com a ABNT NBR 7190:2022

Luis Enaiton Luz Oliveira¹, Ismar Costa Lima Júnior¹, Eduardo Martins Fontes do Rêgo¹

¹Centro de Tecnologia – Universidade Federal do Piauí (UFPI) – Teresina – PI – Brasil

luisenaiton@ufpi.edu.br, ismar.jr.s20@gmail.com,
e_eduardofontes@ufpi.edu.br

Resumo. A norma ABNT NBR 7190 para dimensionamento de estruturas de madeira foi atualizada em 2022, substituindo a versão de 1997. Lima Júnior e Rêgo (2023) automatizaram as etapas de dimensionamento conforme a norma de 1997 com uma planilha eletrônica e um dashboard. Este trabalho visa atualizar essa planilha para atender às novas recomendações da ABNT NBR 7190 (2022). A ferramenta em Excel permite que o usuário insira dados de entrada e realize cálculos automaticamente para elementos do telhado (ripas, caibros, terças e tesouras do tipo Howe), considerando ligações entalhadas. A verificação mostrou variações inferiores a 0,18% comparada aos novos critérios. A ferramenta é gratuita e acessível via Google Drive e OneDrive.

Palavras-chave: estruturas de madeira; telhado; dimensionamento; planilha.

Abstract. The ABNT NBR 7190 standard for the design of timber structures was updated in 2022, replacing the 1997 version. Lima Júnior and Rêgo (2023) automated the design steps according to the 1997 standard using a spreadsheet and dashboard. This study aims to update this spreadsheet to meet the recommendations of ABNT NBR 7190 (2022). The Excel-based tool allows users to input data and automatically perform calculations for roof elements (slats, rafters, purlins and Howe trusses), considering notched joints. Verification showed variations of less than 0.18% compared to the new criteria. The tool is freely accessible via Google Drive and OneDrive.

Keywords: wooden structures; roof; sizing; spreadsheet.

1. Introdução

A madeira é um dos materiais mais utilizados na construção civil, apresenta grande disponibilidade na natureza e relativa facilidade de manuseio (Pfeil e Pfeil, 2003). Além disso, possui elevada relação entre resistência e peso, facilidade de fabricação de diversos produtos e bom isolamento térmico. Na construção civil utiliza-se a madeira provisoriamente em formas para concreto, andaimes e escoramento, e definitivamente, como em estruturas de cobertura, esquadrias, forros e pisos (ZENID et al., 2009).

Desperdícios de madeira na construção civil podem ser evitados por meio de um projeto que atenda às normas técnicas. O dimensionamento de cobertura em madeira de acordo com a ABNT NBR 7190 (1997) é apresentado por Guimarães e Vieira (2019) e Moliterno (2010) e o de ligações e treliças de madeira por Albuquerque (2006). Santos



(2021) desenvolveu o aplicativo para celular Promadeira para o dimensionamento estrutural de cobertura em madeira. Lima Júnior e Rêgo (2023) desenvolveram planilhas, *dashboards* e tabelas para verificar o dimensionamento de telhados de duas águas em estrutura de madeira conforme o que preconiza a ABNT NBR 7190 (1997). No entanto, estes trabalhos não se aplicam aos novos projetos de estruturas de madeira uma vez que a última edição da ABNT NBR 7190 foi publicada em 2022.

Diante do exposto, o presente trabalho propõe realizar alterações na planilha desenvolvida por Lima Júnior e Rêgo (2023) para o dimensionamento de cobertura de madeira em duas águas de forma a adequá-la à ABNT NBR 7190 (2022) e torná-la mais abrangente, acrescentando a verificação das ligações da tesoura. A planilha elaborada neste trabalho visa tornar a etapa de dimensionamento mais prática e acessível.

2. Estrutura de madeira

Esta seção apresenta os fundamentos técnicos necessários para o dimensionamento de estruturas de cobertura em madeira, abrangendo propriedades mecânicas, classificações, elementos estruturais e tipos de telhados. Além disso, discute os carregamentos atuantes, combinações de ações e verificações exigidas pelas normas, com foco na ABNT NBR 7190 (2022). Também são abordadas as ligações por entalhe e o roteiro de cálculo para o dimensionamento e análise estrutural. Esses tópicos são a base teórica para a aplicação prática dos conceitos e normas descritos no trabalho.

2.1. Propriedades mecânicas

Dentre as propriedades mecânicas da madeira, as principais para o projeto de estruturas na construção civil são a resistência, densidade e rigidez. A resistência é a capacidade de um determinado material de suportar tensões (ABNT NBR 7190, 2022). No cálculo estrutural, as dimensões dos elementos estruturais necessárias para resistir aos esforços solicitantes estão diretamente relacionadas à resistência da madeira. Devido à anisotropia da madeira, a resistência da madeira apresenta valores distintos na direção paralela e normal às fibras (Pfeil e Pfeil, 2003). A estimativa do peso da estrutura e o dimensionamento de ligações de peças estruturais com conectores metálicos dependem da densidade da madeira. A densidade básica da madeira é a relação entre a massa seca e volume saturado enquanto a densidade aparente é obtida para a massa e volume na mesma umidade (ABNT NBR 7190, 2022). A estabilidade de peças comprimidas e obtenção de deslocamentos máximos estão vinculados à rigidez do material, diretamente relacionada ao módulo de elasticidade da madeira, obtido na fase elástico-linear (ABNT NBR 7190, 2022).

2.2. Classes de resistência da madeira

A ABNT NBR 7190 (2022) classifica as madeiras de espécies nativas, com base em ensaios realizados em corpos de prova isentos de defeitos, conforme a resistência característica à compressão paralela às fibras, nos grupos de resistência D20 a D60. Já as classificações de resistência baseadas em ensaios de peças estruturais, de acordo com a resistência à flexão, abrangem os grupos C14 a C50 para madeiras de árvores coníferas e D18 a D70 para madeiras de árvores folhosas.

2.3. Telhados em estruturas de madeira

Segundo Moliterno (2010), telhado é um constituinte de uma edificação destinado a protegê-la de intempéries, tais como sol e chuva, sendo dividido em duas partes principais, a Cobertura (formada por materiais impermeáveis à água da chuva, como por exemplo telha cerâmica, telha de concreto, metálica entre outros) e a armação (formada por vários elementos estruturais com o objetivo de dar sustentação à cobertura). Para coberturas de telhas cerâmicas, a mais comum em edificações (Pfeil e Pfeil, 2003), a armação é constituída de ripas, caibros e terças, além de, eventualmente, tesouras, que são treliças localizadas em telhados. Esse tipo de armação é mostrado na Figura 1. Quando executada em madeira, a armação pode ser denominada madeiramento (Moliterno, 2010).

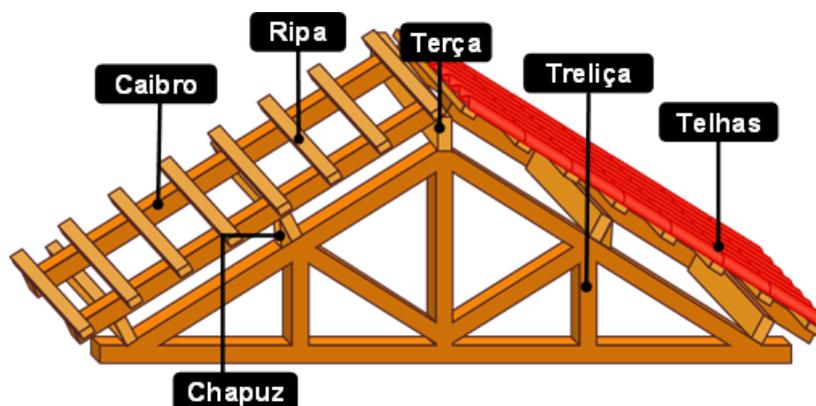


Figura 1. Elementos do telhado em estrutura de madeira

2.3.1. Tipos de tesouras

Existem vários tipos de tesouras, a mais utilizada para estruturas de madeira no Brasil é a tesoura tipo Howe (Moliterno, 2010) mostrada na Figura 2. Isso se deve ao fato desse tipo de tesoura permitir executar a ligação entre diagonais, verticais e banzos por meio de entalhe, que é a forma mais natural de ligação entre peças de madeira (Moliterno, 2010).

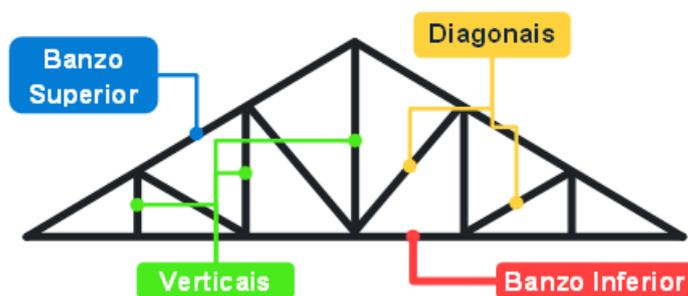


Figura 2. Tesoura tipo Howe

2.4. Carregamentos atuantes

De acordo com Moliterno (2010), os principais carregamentos sobre telhados de edificações são cargas permanentes, constituídas pelo peso próprio da estrutura e dos elementos fixos, e cargas variáveis de ação do vento e sobrecargas ou cargas acidentais. As ações permanentes e acidentais atuam em direção perpendicular ao plano horizontal,

e a ação do vento atua perpendicularmente ao plano do telhado, conforme apresentado na Figura 3.



Figura 3. Posição dos carregamentos no telhado

As ações permanentes consideradas nesse estudo são o peso próprio de terças, caibros, ripas, telhas e tesouras, além do forro e painéis fotovoltaicos, quando existirem.

2.4.1. Cargas Variáveis

Em relação aos carregamentos acidentais, a ABNT NBR 6120 (2019) recomenda a utilização de uma carga uniformemente distribuída de no mínimo $0,25 \text{ kN/m}^2$ para coberturas, além de uma carga pontual de 1 kN localizada na posição mais desfavorável à estrutura, considerando-a atuando isoladamente das demais cargas variáveis. Entretanto, segundo a ABNT NBR 7190 (2022), para elementos com vão menor que 70 centímetros, pode-se dispensar a utilização dessa carga pontual. O valor da força da ação do vento, cujo cálculo é preconizado pela ABNT NBR 6123 (2023), deve ser informado pelo usuário da planilha.

2.4.2. Plano de atuação dos carregamentos

O plano de atuação dos carregamentos no telhado é mostrado na Figura 4, em que as cargas permanentes e a ação do vento estão sobre o plano do telhado, enquanto a sobrecarga atua sobre um plano horizontal. Para um correto dimensionamento, a carga acidental no plano horizontal Q_h é transformada para o plano do telhado Q_i , conforme a Equação (1). O ângulo do telhado é θ .

$$Q_i = Q_h \cdot \cos \theta \quad (1)$$

2.4.3. Decomposição dos carregamentos

Tendo em vista que os carregamentos atuam em direções diferentes dos eixos ortogonais dos elementos estruturais, faz-se necessário decompor esses carregamentos para que atuem na mesma direção. Essa decomposição é mostrada na Figura 4, onde os eixos x e y são os eixos ortogonais da seção, e G , Q e V são as ações permanentes, acidentais e de vento, respectivamente.

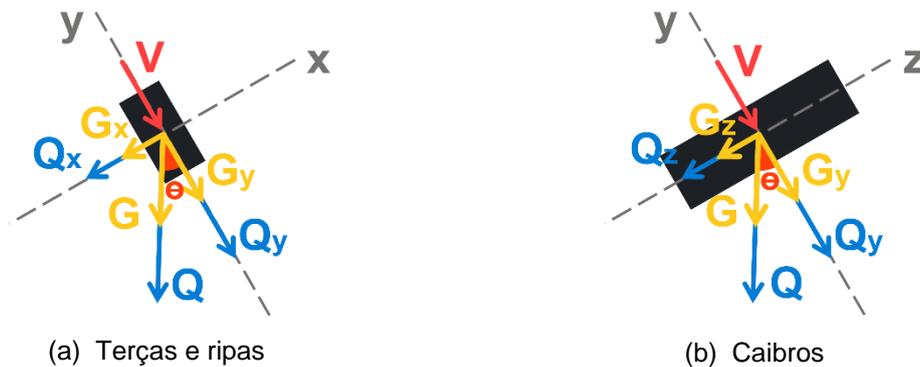


Figura 4. Decomposição dos carregamentos

2.4.4. Esforços atuantes

Os esforços aos quais as ripas, caibros e terças estão submetidos são mostrados na Figura 5, em que as componentes de carregamento nas direções x , y e z são dadas, respectivamente, por q_x , q_y e q_z . M_x e M_z são os momentos fletores nas direções x e y . V_x e V_y são os esforços cortantes ao longo dos eixos x e y . N_z é o esforço axial ao longo do eixo z .

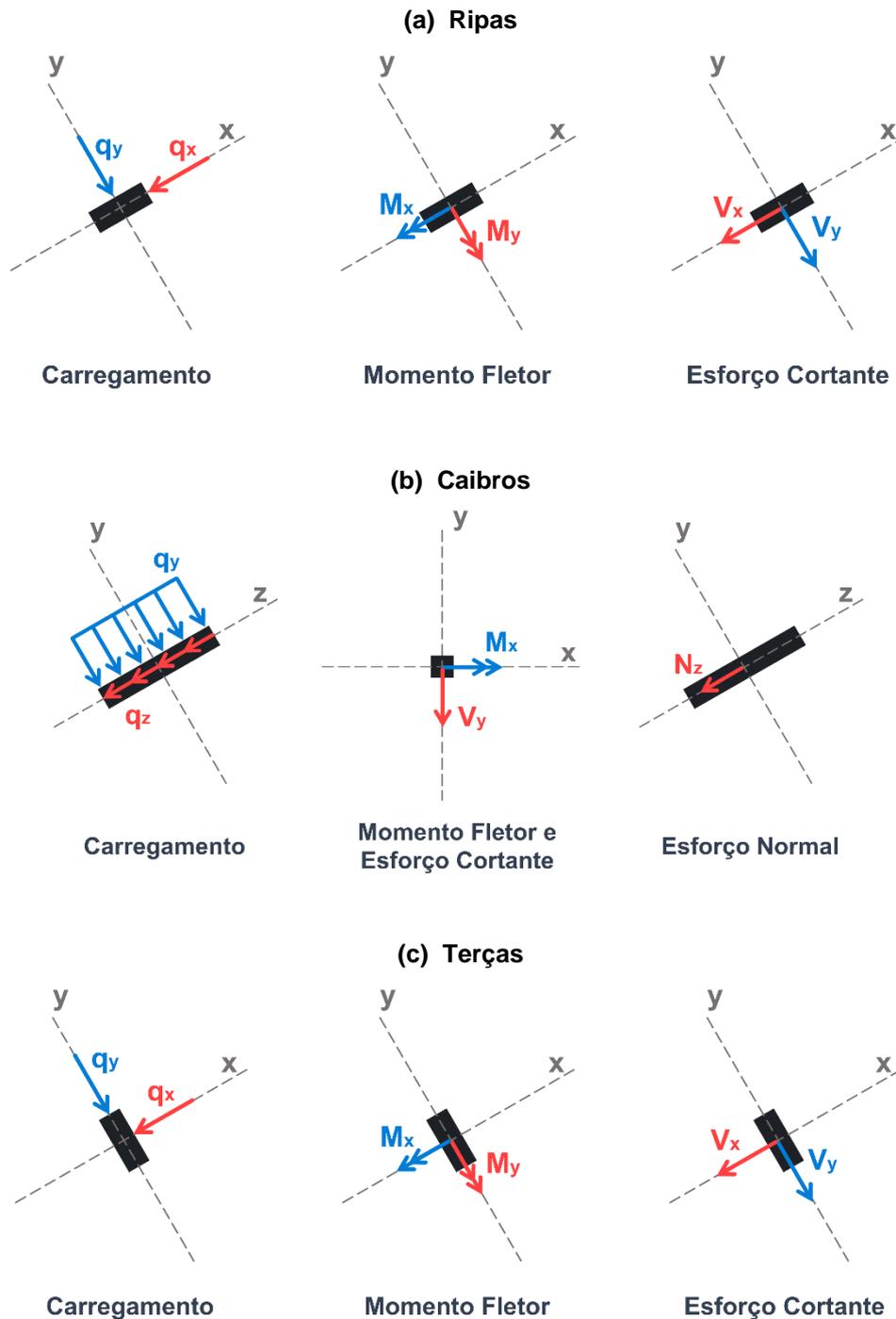


Figura 5. Carregamentos e esforços atuantes

2.5. Combinação de ações para estruturas de madeira

A determinação dos valores de cálculo das ações leva em conta as combinações das diversas ações atuantes na cobertura, buscando-se obter a ação com valor de cálculo mais desfavorável à estrutura nos Estados limites últimos (ELU) e de serviço (ELS) (ABNT NBR 7190, 2022). Estados limites últimos são aqueles que quando ocorrem, causam a

interrupção do uso da construção (ABNT NBR 8681, 2004). Segundo a ABNT NBR 7190 (2022) existem três situações de projeto para o ELU: uso normal da construção, transitória e excepcional. Já os Estados limites de serviço são aqueles que quando ocorrem, causam efeitos que não atendem às condições especificadas para o uso da construção (ABNT NBR 8681, 2004). As combinações do ELS podem ser quase permanentes, frequentes ou raras (ABNT NBR 8681, 2004).

2.6. Verificação dos elementos de cobertura

Os elementos estruturais da cobertura devem ser verificados quanto à sua resistência aos esforços aos quais estão submetidos. Segundo a ABNT NBR 7190 (2022), as verificações a serem feitas para o ELU são à compressão, estabilidade, tração, flexão simples reta, flexão simples oblíqua, flexocompressão, cisalhamento, estabilidade lateral e compressão normal às fibras. Em relação ao ELS, devem ser verificados o deslocamento instantâneo e final. Além disso, deve-se verificar a esbeltez das peças da tesoura. Conforme mostrado na Tabela 1, devido aos elementos da estrutura do telhado estarem sujeitos a diferentes esforços internos, cada uma dessas peças deve atender às suas respectivas verificações de cálculo.

Tabela 1. Verificações para cada elemento da cobertura.

RIPAS	CAIBROS	TERÇAS	TRELIÇAS
Flexão Oblíqua	Flexão simples	Flexão oblíqua	Tração
Cisalhamento	Compressão	Cisalhamento	Compressão
Deslocamento	Flexocompressão	Estabilidade lateral	Esbeltez fora e no plano da treliça
Compressão normal às fibras	Cisalhamento	Deslocamento	Compressão normal às fibras
Flexão oblíqua	Estabilidade lateral	Compressão normal às fibras	Ligações
-	Deslocamento	-	-
-	Compressão normal às fibras	-	-

2.7. Ligações por entalhe

Os entalhes são ligações em que o esforço é transmitido de um elemento ao outro por contato direto. Para a ligação da Figura 6, a mais comum em tesouras de madeira, as seguintes condições devem ser atendidas para o correto dimensionamento da ligação (Pfeil e Pfeil, 2003).

$$t \geq \frac{N_d \cdot \cos(\beta)}{b \cdot f_{c\beta d}} \quad (2)$$

Onde:

t : Profundidade do entalhe;

N_d : Valor de cálculo do esforço normal o qual a ligação está sujeita;

β : Ângulo de inclinação entre as peças;

b : Largura das peças;

$f_{c\beta d}$: Valor de cálculo da resistência a compressão para a inclinação β .

$$a \geq \frac{N_d \cdot \cos(\beta)}{b \cdot f_{vd}} \quad (3)$$

Onde:

a : Comprimento da folga;

f_{vd} : Valor de cálculo da resistência ao cisalhamento.

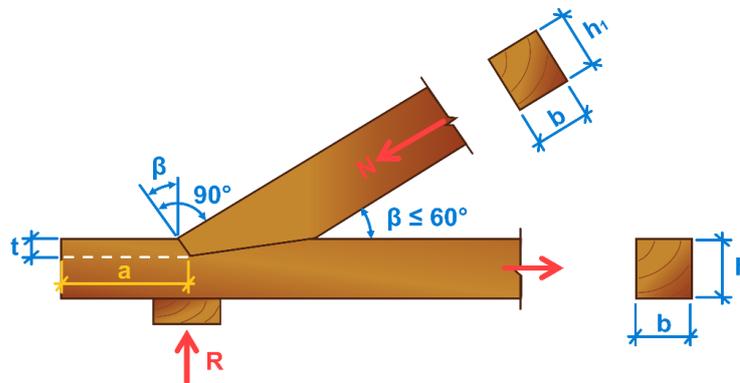


Figura 6. Ligação por dente simples

2.8. Roteiro de cálculo

O método de dimensionamento da cobertura em estrutura de madeira está representado na Figura 7. Como dados de entrada tem-se: as condições iniciais em que a estrutura está inserida, como a geometria dos elementos estruturais e espaçamentos; o tipo de madeira e as condições ambientais as quais a estrutura está sujeita; e as cargas atuantes. A partir dessas informações é possível determinar a resistência de cálculo da madeira e os esforços aos quais a estrutura está submetida. Com base nisso, verificam-se os elementos estruturais em relação ao comprimento ou não das recomendações da ABNT NBR 7190 (2022) para o adequado dimensionamento da estrutura de madeira.



Figura 7. Processo de cálculo

3. Metodologia

A planilha para o dimensionamento de estrutura de cobertura em duas águas apresentado por Lima Júnior e Rêgo (2023), seguindo as recomendações da ABNT NBR 7190 (1997) é usado como base para o presente estudo. A planilha é atualizada no presente trabalho de forma a cumprir as recomendações da nova ABNT NBR 7190 (2022), além de adicionar a verificação das ligações entalhadas da tesoura de madeira. Todas as etapas de cálculo são realizadas utilizando as ferramentas do Excel, tais como operações matemáticas e gráficos.

Para o presente trabalho são considerados apenas telhados de duas águas com madeiramento composto por ripas, caibros, terças e tesouras do tipo Howe, e cobertura em telhas cerâmicas.

Os dados de entrada na planilha são o tipo de telha e de madeira utilizado, as seções e espaçamentos dos elementos estruturais, o valor da ação do vento e as dimensões da cobertura. Os dados de saída são disponibilizados em formato de *dashboards*, informando se os elementos estruturais do telhado atendem ou não às verificações estabelecidas pela ABNT NBR 7190 (2022). Além disso, apresenta-se na planilha a estimativa da quantidade de material para a construção do telhado.

A validação da planilha é feita por meio da comparação dos resultados com a resolução de um exercício de dimensionamento de um telhado.

4. Resultados

4.1. Planilha em Excel

A Figura 8 apresenta o link e QR Code para acessar a planilha desenvolvida neste trabalho. Recomenda-se que seja feito o download da planilha para um melhor aproveitamento de todas as funções disponibilizadas pela ferramenta.

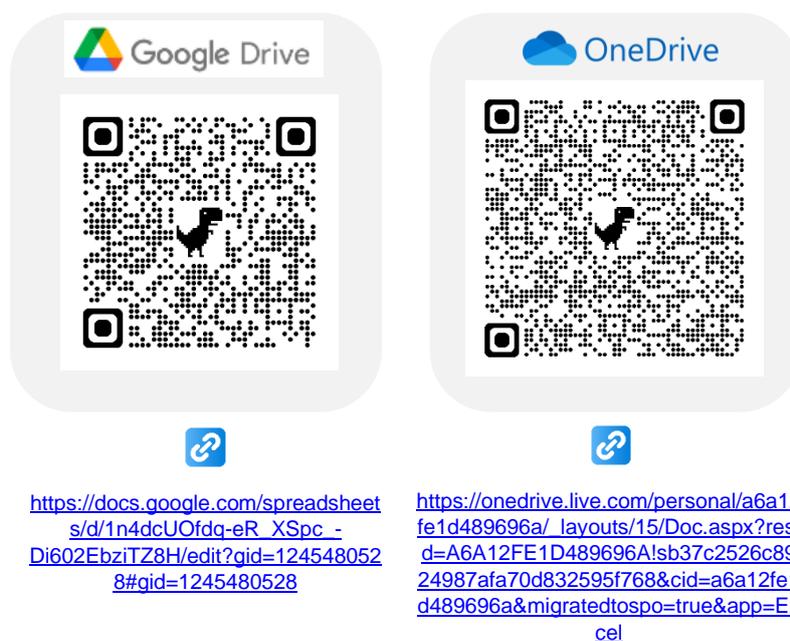


Figura 8. QR Code e link para acesso às planilhas

A planilha do Excel contém a aba principal “HOME” e mais dez abas adicionais:

- a) DSB: Dados de entrada e *Dashboards*;
- b) RST: Resistência da madeira;
- c) CRG: Carregamentos;
- d) CMB: Combinações de ações;
- e) VRF: Verificações;
- f) AXA, AXB, AXC, AXD: Significam respectivamente, planilhas auxiliares A, B, C e D;
- g) LGC A: Ligações entalhadas.

As planilhas auxiliares realizam cálculos que estão expressos resumidamente nas planilhas principais. Nas 9 primeiras planilhas foram feitas alterações de forma a adequá-las à nova ABNT NBR 7190 (2022), já a planilha “Ligações” foi acrescentada ao arquivo para contemplar o dimensionamento das ligações da tesoura.

Para acessar todas as abas da planilha, o arquivo contém uma tela inicial nomeada “HOME”, conforme mostrada na Figura 9, através da qual o usuário pode acessar o modelo A de tesoura, o qual representa elementos com vão de até 6 metros. Nesta aba, também é possível visualizar o módulo independente das ligações da tesoura.



Figura 9. Planilha "HOME"

4.1.1. Dados de entrada e *Dashboards*

A Figura 10 mostra o módulo A para inserção dos dados de entrada para o dimensionamento da estrutura de cobertura em madeira. Os resultados do dimensionamento são mostrados em forma de *Dashboards* (B, C, D, E). Desta forma, o início e o final do cálculo podem ser vistos na mesma aba.

As informações estão reunidas em cinco grupos:

- a) Dados de entrada – região A: nesse espaço encontram-se os dados de entrada solicitados pela planilha ao usuário para que seja feito o dimensionamento. Apenas a região A, em campos com célula em tonalidade cinza e texto em cor branca, pode ser editada, preservando a integridade das fórmulas da planilha;
- b) Dimensões - região B: as principais dimensões do projeto são mostradas, principalmente dos elementos do telhado;
- c) Orçamento – região C: apresenta o custo estimado de madeira e telha para o projeto;



- d) Resultados das verificações – região D: mostra os resultados do dimensionamento através de dashboards para cada elemento do telhado, apresentando a verificação mais crítica em forma de gráfico de rosca;
- e) Detalhamento das ligações – região E: apresenta as ligações da tesoura com as distâncias mínimas calculadas para cada nó.

Na região A apenas algumas células com o texto na cor branca são editáveis, pois são referentes aos dados de entrada que o usuário deve preencher. As células com texto na cor cinza não são editáveis e servem apenas para uma melhor visualização dos cálculos realizados automaticamente pela planilha.

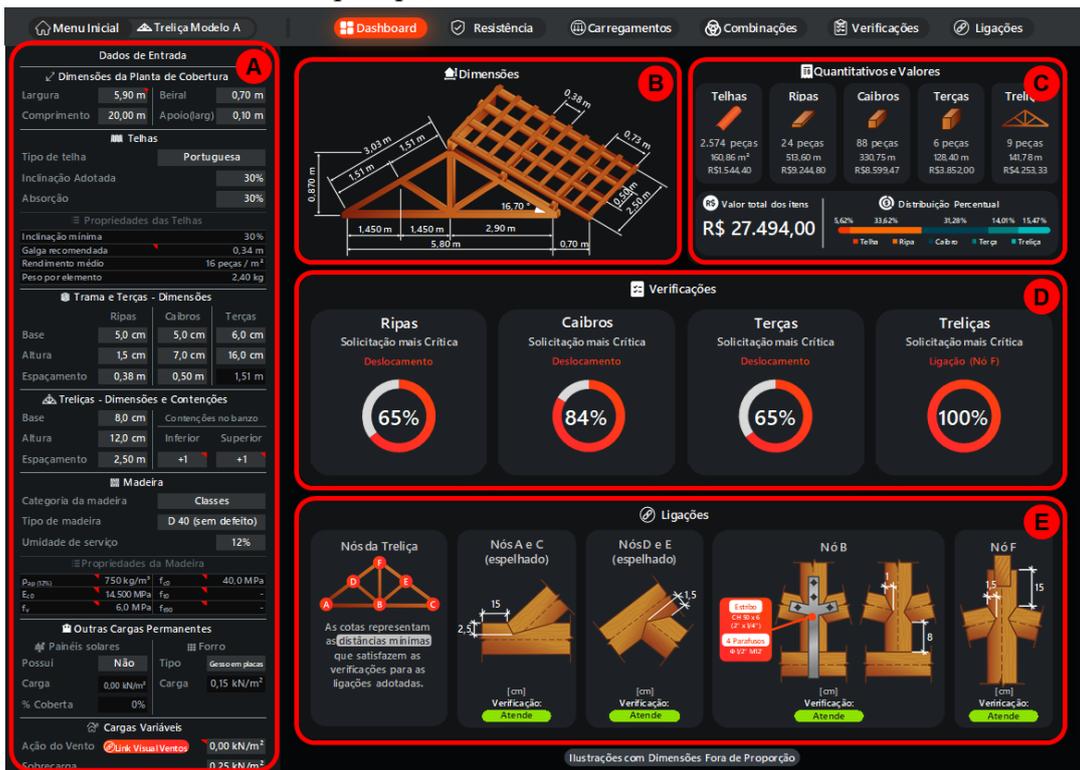


Figura 10. Dados de entrada e Dashboards

4.1.2. Resistência da madeira

A planilha mostra as propriedades da madeira selecionada pelo usuário, como resistência e rigidez, além de coeficientes que serão úteis para o cálculo, como o coeficiente de modificação k_{mod} e o coeficiente de fluência, conforme apresentado na Figura 11.



Figura 11. Resistência da madeira

4.1.3. Carregamentos

Nesta aba (ver Figura 12) são apresentados os valores dos carregamentos permanentes e variáveis em kN/m² para cada elemento do telhado, como terças, caibros, ripas, telhas e tesouras. Ademais, tem-se a decomposição desses carregamentos para os eixos ortogonais da peça.



Figura 12. Carregamentos

4.1.4. Combinações de ações

As combinações de ações realizadas para o ELU e ELS em cada elemento estrutural do telhado são mostradas na Figura 13. As cargas de projeto resultantes dessas combinações são dadas em kN/m². Portanto, multiplica-se a carga no elemento pelo espaçamento de cada peça para obter uma carga distribuída em kN/m. Através dessas cargas é possível determinar os esforços internos de cada elemento, tais como momento fletor, esforço cortante e esforço normal.



Figura 13. Combinações

4.1.5. Verificações

As verificações descritas no item 2.6 são calculadas nessa planilha de acordo com a ABNT NBR 7190 (2022). Para uma melhor visualização dos resultados, as verificações são apresentadas com a coloração verde e texto “ATENDE” caso a verificação seja satisfeita, e coloração magenta e texto “NÃO ATENDE” caso não sejam satisfeitas (Figura 14).



Figura 14. Verificações

4.1.6. Planilhas auxiliares AXA, AXB, AXC e AXD

As planilhas auxiliares AXA, AXB, AXC e AXD são usadas como suporte para os resultados apresentados na aba principal “DSB”, melhorando assim a sua apresentação. Além disso, essas planilhas contêm informações úteis para o dimensionamento, como tabelas de propriedades da madeira e dados das telhas.

4.1.7. Ligações

Há duas planilhas relacionadas a ligações, uma delas, nomeada como “LGC” e mostrada na Figura 15, é dependente das informações inseridas na planilha de dados de entrada e *dashboards*. Há também a planilha independente de ligações “LGC A”, em que o usuário insere os dados de entrada que serão usados no cálculo na própria aba.

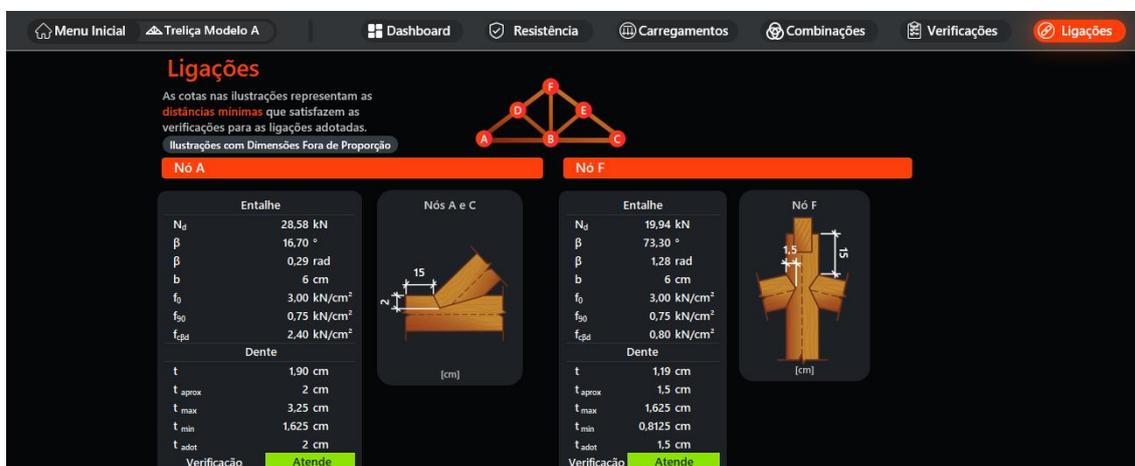


Figura 15. Ligações

4.2. Validação da planilha

Considerando que a ABNT NBR 7190 (2022) foi atualizada recentemente, não foi possível identificar, na literatura especializada, exemplos que abordem integralmente os aspectos contemplados pela planilha desenvolvida neste trabalho. Assim, foi elaborado um exemplo específico para este estudo. A Figura 16 apresenta a geometria e os detalhes do exemplo, que representa um telhado com as seguintes características:

- Projeto arquitetônico: 20 m de comprimento por 5,9 m de largura;
- Telhas: cerâmicas do tipo portuguesa, absorção de 30 %;

- Ripas: seção 5x1,5 cm e espaçamento de 38 cm;
- Caibros: seção 5x7 cm e espaçamento de 50 cm;
- Terças: seção 6x16 cm e espaçamento de 151 cm;
- Tesouras: seção 6x12 cm e espaçamento de 250 cm;
- Madeira: serrada, classe D40, densidade aparente de 750 kg/m³, $f_{ck} = 40$ MPa (ABNT NBR 7190, 2022).

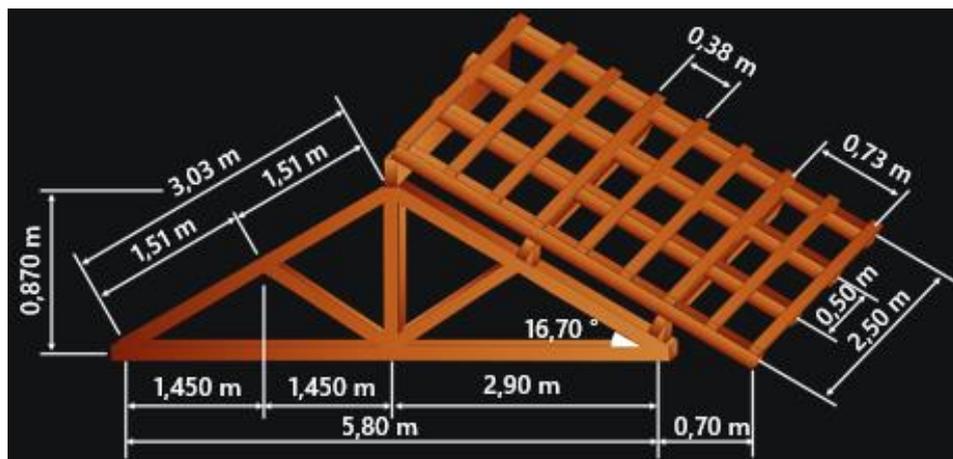


Figura 16. Dimensões do exemplo de dimensionamento

Os resultados da planilha e do exemplo, cujo memorial de cálculo de parte das ligações é apresentado no Apêndice A, são mostrados na Tabela 2. A variação percentual dos resultados var (%) é:

$$var(\%) = \left(\frac{R_p - R_e}{R_e} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

em que R_p é o resultado da planilha e R_e é o resultado do exercício.

Tabela 2. Comparativo entre a planilha e um exemplo de dimensionamento

(continua)

Dado		Planilha	Exemplo	Unidade	Varição
1. Resistência da madeira					
	f_{c0d}	2	2	kN/cm ²	0,00%
	f_{vd}	0,2333	0,2333	kN/cm ²	0,00%
	$E_{c,ef}$	1015	1015	kN/cm ²	0,00%
2. Verificações					
2.1 Flexão Reta					
Ripas	$\sigma_{Mx,d}$	0,6154	0,6153	kN/cm ²	0,02%
	$\sigma_{My,d}$	0,0554	0,0553	kN/cm ²	0,18%
Caibros	$\sigma_{Mx,d}$	1,1304	1,1304	kN/cm ²	0,00%
Terças	$\sigma_{Mx,d}$	0,5802	0,5802	kN/cm ²	0,00%

Tabela 2. Comparativo entre a planilha e um exemplo de dimensionamento

(continua)

Dado		Planilha	Exemplo	Unidade	Varição
	$\sigma_{My,d}$	0,4642	0,4641	kN/cm ²	0,02%
2.2 Flexão Oblíqua					
Ripas		0,3271	0,327	-	0,03%
Terças		0,4526	0,4525	-	0,02%
2.3 Compressão					
Caibros	$\sigma_{N,d}$	0,0615	0,0615	kN/cm ²	0,00%
2.4 Flexocompressão					
Caibros		0,5661	0,5661	-	0,00%
2.5 Deslocamento					
Ripas	$\delta_{inst x}$	0,0029	0,0029	cm	0,00%
	$\delta_{inst y}$	0,108	0,108	cm	0,00%
	$\delta_{inst lim}$	0,1667	0,1667	cm	0,00%
Caibros	$\delta_{inst y}$	0,4219	0,4219	cm	0,00%
	$\delta_{inst lim}$	0,5046	0,5046	cm	0,00%
Terças	$\delta_{inst x}$	0,543	0,5429	cm	0,02%
	$\delta_{inst y}$	0,2545	0,2545	cm	0,00%
	$\delta_{inst lim}$	0,8333	0,8333	cm	0,00%
2.6 Cisalhamento					
Ripas	$\tau_{x,d}$	0,0055	0,0055	kN/cm ²	0,00%
	$\tau_{y,d}$	0,0185	0,0185	kN/cm ²	0,00%
Caibros	τ_d	0,0317	0,0317	kN/cm ²	0,00%
2.6 Cisalhamento					
Terças	$\tau_{x,d}$	0,0097	0,0097	kN/cm ²	0,00%
	$\tau_{y,d}$	0,0323	0,0323	kN/cm ²	0,00%
2.7 Flambagem lateral					
Caibros	σ_{cd}	1,1431	1,1431	kN/cm ²	0,00%
	σ_{lim}	4,8816	4,8815	kN/cm ²	0,00%
Terças	σ_{cd}	1,0444	1,0444	kN/cm ²	0,00%
	σ_{lim}	2,1945	2,1945	kN/cm ²	0,00%
2.8 Compressão normal às fibras					

Tabela 2. Comparativo entre a planilha e um exemplo de dimensionamento

(continua)

Dado		Planilha	Exemplo	Unidade	Varição
Resit.	$F_{cnd,y}$	0,5	0,5	kN/cm ²	0,00%
Ripas	$\sigma_{cnd,y}$	0,0074	0,0074	kN/cm ²	0,00%
Caibros	$\sigma_{cnd,y}$	0,0494	0,0494	kN/cm ²	0,00%
Terças	$\sigma_{cnd,x}$	0,0129	0,0129	kN/cm ²	0,00%
	$\sigma_{cnd,y}$	0,115	0,115	kN/cm ²	0,00%
3. Treliça					
3.3 Verificações Treliça					
3.3.1 Peças Tracionadas					
Barra 1	$\sigma_{N,td}$	0,4634	0,4635	kN/cm ²	-0,02%
Barra 5	$\sigma_{N,td}$	0,1101	0,1101	kN/cm ²	0,00%
3.3.2 Esbeltez dentro do plano					
Barra 1	λ	83,7158	83,7158	-	0,00%
Barra 5	λ	50,2295	50,228	-	0,00%
3.3.3 Esbeltez fora do plano					
Banzo Inferior	λ	167,4316	167,4268	-	0,00%
3.3.4 Peças Comprimidas					
Barra 3	$\sigma_{N,d}$	1,2545	1,2549	kN/cm ²	-0,03%
Barra 4	$\sigma_{N,d}$	0,3788	0,3789	kN/cm ²	-0,03-%
3.3.5 Esbeltez dentro do plano					
Barra 3	λ	43,7009	43,7025	-	0,00%
Barra 4	λ	43,7009	43,7025	-	0,00%
3.3.6 Esbeltez fora do plano					
Banzo Superior	λ	87,4018	87,4026	-	0,00%
3.3.7 Compressão normal às fibras					
	$\sigma_{cnd,y}$	0,2026	0,2026	kN/cm ²	0,00%
3.3.8 Deslocamento instantâneo					
	δ	0,3416	0,3416	cm	0,00%
	δ_{lim}	1,9333	1,9333	cm	0,00%

Tabela 2. Comparativo entre a planilha e um exemplo de dimensionamento

					(conclusão)
Dado	Planilha	Exemplo	Unidade	Variação	
3.3.9 Deslocamento final 0,4541					
δ	0,4541	0,4542	cm	-0,02%	
δ_{lim}	3,8867	3,8867	cm	0,00%	
4. Ligação entalhada					
f_{cad}	1,6029	1,6031	kN/cm ²	-0,01%	
Dente (t)	2,7476	2,7473	cm	0,01%	
Folga (a)	18,8754	18,8776	cm	-0,01%	

Conforme Tabela 2, a planilha apresenta resultados com valores praticamente idênticos aos do exemplo resolvido, com variação máxima de 0,18%. Essa variação é devido ao número de casas decimais adotadas no cálculo, limitada a quatro casas decimais.

5. Conclusão

A planilha desenvolvida apresenta boa confiabilidade quanto ao procedimento de cálculo de estruturas de madeira, visto que seus resultados apresentaram variação máxima de 0,18% quando comparados com os de um exemplo de dimensionamento de um projeto de um telhado de madeira seguindo as recomendações da ABNT NBR 7190 (2022).

Além disso, por ser constituída de gráficos e *dashboards*, há um bom entendimento por parte do usuário sobre as informações expostas na planilha, evidenciando que esta pode ter uma boa aceitação para a comunidade interessada no tema.

Em relação à aplicação prática dessa ferramenta, é esperado que ela auxilie na busca por conhecimento e desenvolvimento da construção civil, uma vez que agrega praticidade e economia. Além disso, a planilha pode continuar sendo aperfeiçoada com a sugestão de melhorias e correções. Mais exemplos e aplicações são necessárias para verificar a confiabilidade total da planilha.

É importante ressaltar que os resultados desta ferramenta são de responsabilidade do usuário.

Referências

- ALBUQUERQUE, R. B. (2006). **Sambladuras em Tesouras de Madeira Tipo Howe**. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6120 (2019). **Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7190. (2022). **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro.



- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8681 (2004). **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro.
- COSTA LIMA JÚNIOR, I; MARTINS FONTES DO RÊGO, E. (2023). Planilha eletrônica para o dimensionamento de coberturas de duas águas em estrutura de madeira. **Revista Tecnologia**, [S. l.], v. 43, p. 17. DOI: 10.5020/23180730.2022.13937. <https://ojs.unifor.br/tec/article/view/13937>. Março.
- GUIMARÃES, L. C.; VIEIRA, P. H. M. (2019). **Dimensionamento Estrutural da Cobertura em Madeira de uma Edificação Rural**. 2019. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia.
- MOLITERNO, A. (2010). **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4ª Edição Revisada. São Paulo, SP: Editora Blucher.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. (2003). **Estruturas de madeira**. Editora LTC. Rio de Janeiro.
- SANTOS, L. M. S. (2021). **Desenvolvimento de Aplicativo Android para Verificação e Dimensionamento de Estruturas de Madeira para Coberturas**. 100 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- Telhas Mafrense**. Disponível em: <http://telhasmafrense.com>. Março.
- ZENID, G. J.; ROMAGNANO, L. F. T.; NAHUZ, M. A. R.; MIRANDA, M. J. A. C.; FERREIRA, O. P.; BRAZOLIN, S. (2009). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo. IPT, 99p.