



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ – UESPI**  
**CAMPUS POETA TORQUATO NETO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO – CTU**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES**

**COMPARAÇÃO DAS VERSÕES 1997 E 2022 DA NBR 7190 NO  
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA: ESTUDO DE CASO DA  
COBERTURA DO AUDITÓRIO DO CTU–UESPI**

**TERESINA-PI**

**2025**

LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES

**COMPARAÇÃO DAS VERSÕES 1997 E 2022 DA NBR 7190 NO  
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA: ESTUDO DE CASO DA  
COBERTURA DO AUDITÓRIO DO CTU-UESPI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para  
obtenção do título de Bacharelado em Engenharia  
Civil da Universidade Estadual do Piauí.

Professor (a) Orientador (a): Me. Carlos Frederico  
Cardoso Fernandes.

**TERESINA-PI**

**2025**

G924c Guedes, Luiz Fellipe de Sousa.

Comparação das versões 1997 e 2022 da NBR 7190 no dimensionamento de estruturas de madeira: estudo de caso da cobertura do auditório do CTU-UESPI / Luiz Fellipe de Sousa Guedes. - 2025.

182f.: il.

Monografia (graduação) - Universidade Estadual do Piauí - UESPI, Bacharelado em Engenharia Civil, Campus Poeta Torquato Neto, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Teresina-PI, 2025.

"Orientador: Prof. Me. Carlos Frederico Cardoso Fernandes".

1. Normas Técnicas. 2. Sustentabilidade na Construção Civil. 3. Engenharia Estrutural. 4. Desempenho Estrutural. 5. Eficiência Econômica. I. Fernandes, Carlos Frederico Cardoso . II. Título.

CDD 624

Ficha elaborada pelo Serviço de Catalogação da Biblioteca da UESPI  
GRASIELLY MUNIZ OLIVEIRA (Bibliotecário) CRB-3ª/1067



GOVERNO DO ESTADO DO PIAUÍ  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ – UESPI  
CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO – CTU  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL – CEC



**ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos trinta (30) dias do mês de junho de dois mil e vinte e cinco (2025), às dezoito horas (18:00h), na presença da Banca Examinadora presidida pelo orientador Professor Me. Carlos Frederico Cardoso Fernandes e pelos examinadores: Dr. Jonathan Madeira de Barros Nunes, e Me. Alisson Rodrigues de Oliveira Dias, o discente **LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES**, apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso - TCC intitulado: **“Comparação das versões 1997 e 2022 da NBR 7190 no dimensionamento de estruturas de madeira: estudo de caso da cobertura do auditório do CTU – UESPI”**, Palavras-chave: "normas técnicas, sustentabilidade na construção civil, engenharia estrutural, desempenho estrutural, eficiência econômica", como requisito curricular indispensável para a integralização do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Após reunião, a Banca Examinadora deliberou e decidiu **aprovar (X) reprovar ( )** o referido trabalho, divulgando o resultado formalmente ao aluno e demais presentes e, para constar, foi lavrada esta Ata, assinada pelos membros da banca e o discente.

---

Me. Carlos Frederico Cardoso Fernandes  
Orientador

---

Dr. Jonathan Madeira de Barros Nunes  
Avaliador Interno

---

Me. Alisson Rodrigues de Oliveira Dias  
Avaliador Externo

---

Luiz Fellipe de Sousa Guedes  
Discente

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho é fruto de uma longa caminhada, repleta de desafios ao longo do percurso. Ao olhar para a trajetória construída nestes cinco anos de graduação, posso afirmar com convicção que todo esse processo foi profundamente recompensador.

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder saúde e forças para seguir em frente com meus objetivos e com a vida.

À minha mãe, Carleane Batista de Sousa, minha eterna inspiração, agradeço por ser presença constante, sempre ao meu lado, apoiando cada uma das minhas decisões com amor, paciência e dedicação.

Estendo meus agradecimentos aos demais familiares que, ao longo dessa jornada, me incentivaram e motivaram a continuar trilhando o caminho da Engenharia Civil. Em especial, à minha avó, Francisca Pereira da Silva, por sempre me mostrar, com palavras e atitudes, que o estudo é a chave do conhecimento e do progresso.

Aos meus outros familiares, deixo também meu reconhecimento por todo o apoio e incentivo, fundamentais para que eu me mantivesse firme na caminhada acadêmica.

Ao professor Carlos Frederico Cardoso Fernandes, meu orientador, agradeço imensamente pela orientação dedicada, pelas explicações claras e coerentes, e por confiar no meu potencial desde o início. Seu exemplo e dedicação pela área de estruturas foram determinantes para despertar em mim um profundo interesse por esse campo da Engenharia.

Sou igualmente grato a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica. Cada ensinamento, cada desafio e cada aula deixaram marcas importantes na minha construção como futuro profissional.

Aos colegas de sala, agradeço pela parceria ao longo da graduação. Compartilhamos trabalhos, atividades, dificuldades e conquistas, sempre com espírito de colaboração e amizade.

A todos, meu mais sincero e profundo agradecimento. Muito obrigado!

*“A persistência é o caminho do êxito.”*

**Charles Chaplin**

## RESUMO

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil, destacando-se por apresentar uma combinação de propriedades que a tornam altamente competitiva no cenário contemporâneo. Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver uma análise comparativa entre as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, norma brasileira que trata do dimensionamento de estruturas de madeira. A investigação foi aplicada por meio de um estudo de caso prático: a cobertura do auditório do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí (CTU–UESPI), originalmente concebida em estrutura metálica e adaptada para madeira com fins comparativos. A abordagem do trabalho contemplou três frentes principais: fundamentos teóricos, critérios técnicos e avaliação econômica. No âmbito teórico, observaram-se mudanças relevantes nos princípios normativos, incluindo a adoção de novas formas de classificação da madeira, revisão dos coeficientes modificadores, além da atualização dos critérios de estabilidade e ligações. No aspecto técnico, as alterações normativas impactaram diretamente o projeto estrutural, exigindo, em determinadas situações, o uso de seções transversais distintas. Sob a perspectiva econômica, verificou-se que a versão de 1997 resultou em um projeto mais econômico, uma vez que a versão de 2022 apresentou um custo 30,11% superior. Esse aumento decorre das exigências normativas mais rigorosas da versão atual, sobretudo no dimensionamento das barras comprimidas. Em contrapartida, a versão de 2022 apresentou um enfoque mais conservador, com maior número de verificações e requisitos normativos mais exigentes, alinhados às tendências atuais de segurança e desempenho estrutural. Dessa forma, as modificações normativas refletem uma evolução técnica na área, exigindo maior precisão no dimensionamento e maior investimento, mas contribuindo para a confiabilidade dos projetos estruturais.

Palavras-chave: Normas técnicas. Sustentabilidade na construção civil. Engenharia estrutural. Desempenho estrutural. Eficiência econômica.

## **ABSTRACT**

Wood is one of the oldest materials used in civil construction, standing out for its combination of properties that make it highly competitive in contemporary structural applications. This study aims to perform a comparative analysis between the 1997 and 2022 versions of NBR 7190, the Brazilian standard that regulates the design of timber structures. The research was applied through a practical case study: the roof structure of the auditorium at the Center for Technology and Urbanism of the State University of Piauí (CTU–UESPI), originally designed in steel and adapted to wood for comparison purposes. The study focused on three main aspects: theoretical framework, technical design criteria, and economic evaluation. The theoretical analysis revealed significant changes in normative principles, such as new classification methods for timber, revisions to modification coefficients, and updates to stability and connection requirements. From a technical perspective, the standard changes directly affected the structural design, requiring different cross-sections in specific cases. Economically, it was observed that the 1997 version led to a more cost-effective design, as the 2022 version resulted in a 30,11% higher cost. This increase is attributed to the more stringent requirements of the current version, particularly regarding the design of compressed members. In contrast, the 2022 version adopted a more conservative approach, with a greater number of verifications and stricter design criteria, aligned with modern trends in structural safety and performance. Therefore, the normative updates reflect a technical evolution in the field, demanding greater precision and investment, while enhancing the reliability of timber structural designs.

**Keywords:** Technical standards. Sustainability in civil construction. Structural engineering. Structural performance. Economic efficiency.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Madeira serrada da espécie Maçaranduba .....	28
Figura 2 – Utilização da madeira roliça em pilares .....	30
Figura 3 – Montagem das peças de madeira laminada colada da cobertura do <i>Shopping Iguatemi</i> Fortaleza.....	32
Figura 4 – Configuração construtiva de um painel de CLT .....	33
Figura 5 - Aspecto visual da madeira compensada.....	34
Figura 6 – Valores para as classes de resistência das coníferas, conforme a Tabela 8 da NBR 7190:1997 .....	39
Figura 7 – Valores para as classes de resistência das dicotiledôneas, conforme a Tabela 9 da NBR 7190:1997 .....	40
Figura 8 – Valores de $k_{mod1}$ , conforme a Tabela 10 da NBR 7190:1997 .....	41
Figura 9 – Valores de $k_{mod2}$ , conforme a Tabela 11 da NBR 7190:1997.....	41
Figura 10 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos, conforme a Tabela 2 da NBR 7190:2022 .....	42
Figura 11 – Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais, conforme a Tabela 3 da NBR 7190:2022 .....	42
Figura 12 – Valores de $k_{mod1}$ , conforme a Tabela 4 da NBR 7190:2022.....	43
Figura 13 – Valores de $k_{mod2}$ , conforme a Tabela 5 da NBR 7190:2022.....	44
Figura 14 – Classes de carregamento, segundo a Tabela 1 da NBR 7190:2022 .....	45
Figura 15 – Valores referentes aos fatores de combinação e de utilização, conforme a Tabela 2 da NBR 7190:1997 .....	46
Figura 16 – Valores das ações variáveis, conforme a Tabela 6 da NBR 7190:1997.....	47
Figura 17 – Valores de $\alpha_n$ , conforme a Tabela 13 da NBR 7190:1997 .....	50
Figura 18 – Valores de $\alpha_n$ , conforme a Tabela 6 da NBR 7190:2022.....	53
Figura 19 – Valores dos coeficientes de correção $\beta_M$ , conforme a Tabela 16 da NBR 7190:1997 .....	65
Figura 20 – Valores dos coeficientes $K_E$ , conforme a Tabela 7 da NBR 7190:2022 .....	67
Figura 21 – Valores dos coeficientes de correção $\beta_M$ para $\gamma_f = 1,4$ e $\beta_E = 4$ , conforme a Tabela 8 da NBR 7190:2022 .....	69

Figura 22 – Valores do coeficiente $\alpha_e$ , conforme a Tabela 14 da NBR 7190:1997 ...	70
Figura 23 – Valores dos coeficientes de fluência ( $\phi$ ), conforme a Tabela 15 da NBR 7190:1997 .....	71
Figura 24 – Valores dos coeficientes de fluência ( $\phi$ ), conforme a Tabela 20 da NBR 7190:2022 .....	72
Figura 25 – Limites de deslocamento para elementos correntes fletidos, segundo a Tabela 21 da NBR 7190:2022 .....	74
Figura 26 – Espaçamentos mínimos para ligações com pinos metálicos, segundo a Tabela 14 da NBR 7190:2022 .....	86
Figura 27 – Espaçamentos mínimos para ligações com anéis metálicos, segundo a Tabela 15 da NBR 7190:2022 .....	86
Figura 28 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (parte 1), conforme a Tabela 18 da NBR 7190:2022 .....	92
Figura 29 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (conclusão), conforme a Tabela 18 da NBR 7190:2022 .....	92
Figura 30 – Modos de falha e equações para ligações com chapas metálicas e pinos, conforme a NBR 7190:2022 .....	93
Figura 31 – Planta baixa da edificação (dimensões em centímetros) .....	104
Figura 32 – Corte do projeto de arquitetura (dimensões em centímetros) .....	104
Figura 33 – Planta de forma do baldrame .....	105
Figura 34 – Corte AA.....	106
Figura 35 – Corte BB.....	106
Figura 36 – Geometria e esquema da tesoura de madeira utilizada no estudo de caso (dimensões em centímetros).....	110
Figura 37 – Numeração dos nós e das barras da treliça .....	118
Figura 38 – Cargas da treliça (kN): versão de 1997 .....	119
Figura 39 – Cargas da treliça (kN): versão de 2022 .....	119
Figura 40 – Reações e esforços axiais (kN): versão de 1997 .....	119
Figura 41 – Reações e esforços axiais (kN): versão de 2022 .....	120
Figura 42 – Contraventamento de treliças de cobertura: (a) planta da cobertura; (b) treliça de contraventamento; (c) contraventamento no plano vertical .....	130
Figura 43 – Arranjo vertical de contraventamento, segundo a NBR 7190:2022 .....	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Seções comerciais disponíveis na cidade de Teresina-PI .....	112
Tabela 2 – Carregamento da cobertura conforme a versão de 1997 .....	116
Tabela 3 – Carregamento da cobertura conforme a versão de 2022 .....	116
Tabela 4 – Análise da carga para dimensionamento da terça de cobertura conforme a versão de 1997 .....	116
Tabela 5 – Análise da carga para dimensionamento da tesoura de madeira conforme a versão de 1997 .....	116
Tabela 6 – Análise da carga para dimensionamento da terça de cobertura conforme a versão de 2022 .....	117
Tabela 7 – Análise da carga para dimensionamento da tesoura de madeira conforme a versão de 2022 .....	117
Tabela 8 – Dados das barras da tesoura: versão de 1997 .....	121
Tabela 9 – Dados das barras da tesoura: versão de 2022 .....	122
Tabela 10 – Comparativo sobre as propriedades da madeira .....	135
Tabela 11 – Comparativo sobre ações e combinações de ações .....	136
Tabela 12 – Comparativo sobre tensões normais .....	138
Tabela 13 – Comparativo sobre flexão simples reta .....	138
Tabela 14 – Comparativo sobre flexão simples oblíqua .....	139
Tabela 15 – Comparativo sobre flexotração .....	140
Tabela 16 – Comparativo sobre flexocompressão .....	141
Tabela 17 – Comparativo sobre cisalhamento .....	142
Tabela 18 – Comparativo sobre estabilidade .....	143
Tabela 19 – Comparativo sobre resistência de embutimento .....	144
Tabela 20 – Comparativo sobre estados-limites de serviço .....	145
Tabela 21 – Comparativo sobre ligações .....	146
Tabela 22 – Seções transversais da estrutura de madeira .....	152
Tabela 23 – Resumo de quantitativo do projeto estrutural da cobertura: versão de 1997 .....	153
Tabela 24 – Resumo de quantitativo do projeto estrutural da cobertura: versão de 2022 .....	153

Tabela 25 – Preço médio das seções comerciais utilizadas .....	155
Tabela 26 – Orçamento da estrutura de madeira: versão de 1997 .....	155
Tabela 27 – Orçamento da estrutura de madeira: versão de 2022 .....	155

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

CE – CEARÁ

CLT – CROSS-LAMINATED TIMBER

CSA – CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION

CTU – CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO

EN – EUROPEAN NORM

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION

LVL – LAMINATED VENEER LUMBER (MADEIRA LAMINADA DE FOLHEADO)

MLC – MADEIRA LAMINADA COLADA

MLCC – MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA

NBR – NORMA BRASILEIRA

PI – PIAUÍ

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>18</b>
1.1	PROBLEMATIZAÇÃO .....	20
1.2	OBJETIVOS .....	21
1.2.1	Objetivo geral .....	21
1.2.2	Objetivos específicos.....	21
1.3	JUSTIFICATIVA .....	22
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
2.1	A MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL.....	24
2.2	TIPOS DE MADEIRA NA CONSTRUÇÃO .....	27
2.2.1	Madeira Serrada.....	27
2.2.2	Madeira Roliça.....	29
2.2.3	Madeira Laminada Colada (MLC).....	30
2.2.4	Madeira Laminada Cruzada (CLT) .....	32
2.2.5	Madeira Compensada .....	34
2.3	A NORMA BRASILEIRA NBR 7190 .....	35
2.4	BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA .....	36
2.5	DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA.....	37
2.6	CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO .....	38
2.6.1	Classificação e propriedades da madeira.....	38
2.6.1.1	Versão de 1997 .....	38
2.6.1.2	Versão de 2022 .....	41
2.6.2	Ações e combinações de ações .....	44
2.6.2.1	Versão de 1997 .....	44
2.6.2.2	Versão de 2022 .....	47
2.6.3	Coeficientes de segurança .....	48
2.6.3.1	Versão de 1997 .....	48

2.6.3.2 Versão de 2022 .....	48
2.6.4 Tensões normais .....	49
2.6.4.1 Versão de 1997 .....	49
2.6.4.2 Versão de 2022 .....	51
2.6.5 Flexão simples reta .....	53
2.6.5.1 Versão de 1997 .....	53
2.6.5.2 Versão de 2022 .....	53
2.6.6 Flexão simples oblíqua .....	54
2.6.6.1 Versão de 1997 .....	54
2.6.6.2 Versão de 2022 .....	55
2.6.7 Flexotração .....	55
2.6.7.1 Versão de 1997 .....	55
2.6.7.2 Versão de 2022 .....	56
2.6.8 Flexocompressão .....	56
2.6.8.1 Versão de 1997 .....	56
2.6.8.2 Versão de 2022 .....	57
2.6.9 Cisalhamento .....	58
2.6.9.1 Versão de 1997 .....	58
2.6.9.2 Versão de 2022 .....	59
2.6.10 Torção .....	60
2.6.10.1 Versão de 1997 .....	60
2.6.10.2 Versão de 2022 .....	61
2.6.11 Estabilidade .....	61
2.6.11.1 Versão de 1997 .....	61
2.6.11.2 Versão de 2022 .....	66
2.6.12 Resistência de embutimento .....	69

2.6.12.1 Versão de 1997 .....	69
2.6.12.2 Versão de 2022 .....	70
2.6.13 Coeficientes de fluência .....	71
2.6.13.1 Versão de 1997 .....	71
2.6.13.2 Versão de 2022 .....	72
2.6.14 Estados-limite de serviço (ELS).....	72
2.6.14.1 Versão de 1997 .....	72
2.6.14.2 Versão de 2022 .....	73
2.6.15 Estabilidade global – contraventamento .....	74
2.6.15.1 Versão de 1997 .....	74
2.6.15.2 Versão de 2022 .....	75
2.6.16 Ligações .....	76
2.6.16.1 Versão de 1997 .....	76
2.6.16.2 Versão de 2022 .....	81
2.6.17 Disposições construtivas .....	94
2.6.17.1 Versão de 1997 .....	94
2.6.17.2 Versão de 2022 .....	96
2.6.18 Projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira .....	98
2.6.18.1 Versão de 1997 .....	98
2.6.18.2 Versão de 2022 .....	98
2.6.19 Estruturas de madeira em situação de incêndio .....	100
2.6.19.1 Versão de 1997 .....	100
2.6.19.2 Versão de 2022 .....	100
2.6.20 Durabilidade e proteção da madeira.....	101
2.6.20.1 Versão de 1997 .....	101
2.6.20.2 Versão de 2022 .....	101



<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>103</b>
3.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL.....	103
3.2	DEFINIÇÃO E ADAPTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	103
3.3	ANÁLISE DA ARQUITETURA E DOS CARREGAMENTOS PROVENIENTES DO PROJETO ESTRUTURAL.....	107
3.4	DEFINIÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL EM MADEIRA .....	108
3.5	DEFINIÇÃO DA MADEIRA: ESPÉCIE, PROPRIEDADES MECÂNICAS E SEÇÕES COMERCIAIS DISPONÍVEIS LOCALMENTE.....	110
3.6	HIPÓTESES DE CARREGAMENTO, CARGAS ATUANTES E ESFORÇOS NA ESTRUTURA.....	112
3.7	PROCEDIMENTOS DE DIMENSIONAMENTO .....	122
3.7.1	Coeficiente de modificação ( $k_{mod}$ ) utilizado para o projeto.....	124
3.7.2	Terças .....	124
3.7.3	Barras comprimidas (tesoura) .....	127
3.7.4	Barras tracionadas (tesoura) .....	128
3.7.4.1	Contraventamentos .....	129
3.8	ORÇAMENTO DA ESTRUTURA DE MADEIRA.....	131
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>133</b>
4.1	COMPARAÇÃO TEÓRICA ENTRE A NBR 7190:1997 E A NBR 7190:2022 – CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	133
4.1.1	Classificação e propriedades da madeira.....	133
4.1.2	Ações e combinações de ações .....	135
4.1.3	Coeficientes de segurança .....	136
4.1.4	Tensões normais .....	137
4.1.5	Flexão simples reta .....	138
4.1.6	Flexão simples oblíqua.....	138
4.1.7	Flexotração.....	139

4.1.8 Flexocompressão .....	140
4.1.9 Cisalhamento.....	141
4.1.10 Torção .....	142
4.1.11 Estabilidade .....	142
4.1.12 Resistência de embutimento .....	143
4.1.13 Coeficientes de fluência .....	144
4.1.14 Estados-limite de serviço (ELS).....	144
4.1.15 Estabilidade global – contraventamento .....	145
4.1.16 Ligações .....	145
4.1.17 Disposições construtivas .....	147
4.1.18 Projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira .....	147
4.1.19 Estruturas de madeira em situação de incêndio .....	148
4.1.20 Durabilidade e proteção da madeira.....	149
4.1.21 Resumo comparativo das principais alterações .....	149
4.2 COMPARAÇÃO TÉCNICA.....	152
4.3 COMPARAÇÃO ECONÔMICA .....	154
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>158</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>164</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A madeira é considerada um dos materiais de construção mais antigos utilizados pela humanidade, com indícios de aplicação há mais de dez mil anos, como exemplificado pelas *longhouses* neolíticas encontradas na Europa (EESC JR, 2022). Durante a dinastia Sung, na China, foram desenvolvidas técnicas construtivas em madeira com alto grau de precisão, caracterizadas por estruturas compostas de pilares e vigas conectados por encaixes, cujos métodos foram documentados graficamente pelos construtores da época (Meirelles et al., 2007). Durante o período medieval, a técnica de construção em madeira aprimorou-se, especialmente na Europa, onde foi extensivamente aplicada em grandes obras, incluindo casas e catedrais de madeira que surgiram em muitas cidades (INBEC, 2023).

No Brasil, a madeira possui uma relação histórica marcante desde o período colonial, quando sua vasta disponibilidade natural impulsionou seu uso nas mais diversas aplicações. O Pau-Brasil, em especial, foi amplamente explorado não apenas como item de exportação, mas também em usos locais, como na fabricação de móveis, violinos, e nas construções civil e naval, destacando-se por sua elevada densidade, resistência e tonalidade avermelhada (Instituto Brasileiro de Florestas, [s.d.]). Com o avanço da industrialização e a introdução de novos materiais, como o concreto e o aço, a utilização da madeira na construção civil diminuiu significativamente. No entanto, países como Estados Unidos e Canadá, que possuem grandes reservas de madeira, passaram a construir casas em madeira em escala industrial, o que demonstra a presença ainda relevante desse material na construção civil (Meirelles et al., 2007).

Atualmente, a madeira tem ganhado destaque no setor da construção civil, impulsionada pela crescente demanda por práticas sustentáveis. Suas características de renovabilidade e baixa emissão de carbono, combinadas com os progressos em tecnologias de processamento e regulamentação, a tornam uma opção atraente para estruturas contemporâneas (EESC JR, 2022).

A madeira, como material estrutural, destaca-se por uma combinação de propriedades que a tornam altamente competitiva no cenário da construção civil contemporânea. Sua notável capacidade de resistência, tanto à tração quanto à

compressão, é um dos seus atributos mais valorizados, equiparando-se ou até mesmo superando, em determinadas situações, outros materiais convencionais em termos de desempenho estrutural por unidade de peso (Vieira da Mota, 2017). Essa alta relação resistência-peso confere à madeira uma leveza inerente, o que se traduz em estruturas mais esbeltas e fundações menos onerosas, otimizando o processo construtivo e reduzindo custos indiretos (Mata Nativa, 2019).

Além das suas qualidades mecânicas e de leveza, a rapidez de execução é outro diferencial significativo das estruturas de madeira. A possibilidade de pré-fabricação de elementos em ambiente controlado e a facilidade de montagem no canteiro de obras contribuem para a aceleração dos cronogramas, minimizando o tempo de exposição a intempéries e otimizando a logística da construção (Madel, 2024). Segundo Zenid (2000), a madeira, quando utilizada em sistemas construtivos modernos, como a madeira laminada colada (MLC) e o *cross-laminated timber* (CLT), oferece soluções eficientes e de alta performance, alinhadas às exigências de projetos contemporâneos.

Um exemplo significativo do uso da madeira em grandes edificações comerciais é o *Shopping Iguatemi Fortaleza*, localizado em Fortaleza - CE. De acordo com La Guarda Low, Carpinteria e Moretti Interholz (2014), os painéis de madeira laminada colada (MLC) utilizados na cobertura do Shopping Iguatemi Fortaleza foram escolhidos por serem provenientes de reflorestamento, formarem uma estrutura curvilínea com vão livre de 48 metros e apresentarem melhor desempenho estrutural em comparação à madeira maciça. Este projeto representa um marco importante na história do uso da madeira na construção civil brasileira, ao demonstrar o potencial do material para vencer grandes vãos e suportar cargas elevadas.

Segundo a Timbau Estruturas (2021), a versão de 1997 da NBR 7190, juntamente com a norma europeia (Eurocode 5), foi um dos principais referenciais normativos para o dimensionamento da estrutura de madeira daquele projeto. Essas normas definiram os critérios para a resistência mecânica dos elementos estruturais e os coeficientes de ajuste conforme as condições de carga e umidade. Com a revisão da norma em 2022, houve mudanças significativas que poderiam impactar o dimensionamento da estrutura, como ajustes nos coeficientes de resistência,

recomendações aprimoradas para ligações estruturais e novas diretrizes para produtos estruturais de madeira, como a madeira laminada colada (MLC).

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma análise comparativa entre as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, norma que estabelece os critérios para o dimensionamento de estruturas de madeira no Brasil. A pesquisa será focada no estudo de caso da cobertura do auditório do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí (CTU–UESPI), localizado na cidade de Teresina – PI, que originalmente foi projetada com estrutura metálica, mas, para o presente trabalho, será substituída por uma estrutura de madeira para viabilizar o estudo. O estudo investigará as modificações nos requisitos e procedimentos de projeto para o dimensionamento das peças de madeira entre as duas versões da norma, analisando as implicações dessas mudanças no projeto estrutural da cobertura. A pesquisa buscará identificar as principais diferenças entre as versões da norma, discutir os impactos dessas alterações na prática de engenharia e apresentar um exemplo prático de dimensionamento com base nas duas versões da NBR 7190.

Espera-se que a comparação entre as versões da NBR 7190, conforme realizada neste estudo, contribua para uma compreensão mais aprofundada dos avanços normativos e de seus efeitos na engenharia estrutural. Tal aspecto ressalta a relevância do presente trabalho, que visa investigar como as modificações da norma influenciam a segurança, os critérios técnicos adotados e os impactos econômicos desse sistema estrutural.

## **1.1 PROBLEMATIZAÇÃO**

Com a revisão da norma NBR 7190 em 2022, surgiram novas exigências para o dimensionamento de estruturas de madeira. Essa atualização busca refletir os avanços tecnológicos, as práticas construtivas contemporâneas e as demandas por soluções mais sustentáveis. No entanto, também impõe novos critérios que podem impactar significativamente tanto a execução quanto o custo das obras.

No contexto específico do auditório no Centro de Tecnologia da Universidade Estadual do Piauí (CTU–UESPI), surgem questões fundamentais: como as mudanças

na norma influenciam o dimensionamento estrutural desse tipo de construção? Quais são as diferenças práticas nas exigências de cálculo e resistência entre as duas versões da norma? E, principalmente, de que maneira as atualizações afetam a viabilidade técnica e econômica do projeto?

Essas questões se tornam ainda mais pertinentes considerando que a norma atualizada já está em vigor. Espera-se que o presente estudo contribua para a avaliação dos impactos decorrentes da atualização normativa.

## **1.2 OBJETIVOS**

### *1.2.1 Objetivo geral*

Apresentar uma análise comparativa entre as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, com foco no dimensionamento de estruturas de madeira, aplicando essa comparação ao projeto da cobertura do auditório do Campus da Universidade Estadual do Piauí (CTU–UESPI), a fim de identificar as principais alterações nos critérios teóricos e técnicos da norma, bem como suas implicações no custo da estrutura.

### *1.2.2 Objetivos específicos*

- Investigar os métodos de cálculo e os requisitos de resistência estabelecidos nas duas versões da norma, destacando as diferenças e suas implicações práticas.
- Averiguar a estrutura de madeira da cobertura do auditório do CTU–UESPI com base nas duas versões da NBR 7190, simulando os cálculos e projetando as peças de madeira conforme cada versão.
- Analisar os resultados do dimensionamento, comparando os impactos das duas versões da norma em termos de segurança e custo do projeto da cobertura do auditório.
- Discutir as implicações das mudanças normativas na prática da engenharia civil, fornecendo subsídios sobre os impactos técnicos e econômicos da atualização da NBR 7190.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A escolha deste tema é justificada pela relevância da madeira como material de construção sustentável e pela crescente demanda por alternativas que combinem eficiência estrutural e menor impacto ambiental. A madeira é considerada sustentável por ser um recurso renovável, reciclável e por apresentar baixo impacto ambiental em sua produção. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2020), 1 metro cúbico de madeira pode armazenar entre 0,9 e 1 tonelada de CO<sub>2</sub>, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Além disso, quando proveniente de florestas manejadas de forma sustentável, a madeira também contribui para a preservação da biodiversidade e a regeneração ambiental.

Com a revisão da NBR 7190 em 2022, profissionais e estudantes de engenharia são desafiados a adaptar-se a uma nova abordagem normativa para o dimensionamento de estruturas de madeira, o que requer uma compreensão aprofundada das mudanças. Nesse contexto, a comparação entre as versões de 1997 e 2022 da norma torna-se essencial para identificar as principais diferenças nos critérios de dimensionamento, especialmente porque a versão de 1997 foi amplamente utilizada por mais de duas décadas e ainda representa a base de muitos projetos em vigor, assim como de publicações técnicas e referências bibliográficas disponíveis no Brasil. Mesmo com a nova versão sendo atualmente a referência oficial, o conhecimento da norma anterior continua relevante, principalmente em situações de avaliação, manutenção ou reforço de estruturas executadas segundo a versão anterior.

Ademais, a comparação entre as versões da norma possibilita uma melhor compreensão dos efeitos técnicos e econômicos decorrentes das modificações introduzidas, fornecendo suporte para analisar alterações no dimensionamento, na segurança das estruturas e na aplicabilidade da madeira como solução construtiva. Esse tipo de análise crítica poderá contribuir para que os profissionais tomem decisões mais embasadas em seus projetos, levando em conta não apenas os requisitos normativos atuais, mas também a evolução técnica e os fundamentos anteriores que ainda influenciam a prática da engenharia.

Dessa forma, a realização deste estudo favorece uma transição mais clara entre os conceitos das duas versões e contribui tecnicamente para o aprimoramento do processo de dimensionamento de estruturas de madeira, com base em uma interpretação crítica das exigências normativas.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 A MADEIRA COMO MATERIAL ESTRUTURAL**

A madeira é um dos materiais construtivos mais antigos da humanidade, sendo amplamente utilizada devido à sua resistência, leveza e propriedades renováveis. Seu uso na construção civil é embasado em suas características mecânicas e sua disponibilidade em diversas regiões do mundo. Esse material é um recurso renovável que demonstra um comportamento estrutural vantajoso quando corretamente dimensionada e protegida contra agentes degradadores. Suas propriedades mecânicas, como resistência e densidade, são influenciadas pela espécie, teor de umidade e direção das fibras, bem como pelas condições ambientais de desenvolvimento da árvore (Logsdon, 2015).

Com relação a classificação, a madeira é geralmente dividida em dois grandes grupos: coníferas e folhosas. Essa classificação é fundamental para o projeto de estruturas de madeira, pois cada grupo apresenta propriedades físicas e mecânicas distintas, influenciando diretamente o dimensionamento dos elementos estruturais. As coníferas, como o pinus, são amplamente utilizadas em estruturas devido à sua uniformidade e facilidade de trabalho. Já as folhosas, como o jatobá e o ipê, são mais densas e utilizadas em situações que exigem maior resistência e durabilidade. A seleção da madeira apropriada é fundamental para assegurar a segurança e o desempenho estrutural, considerando suas características inerentes (Calil Junior, 2009).

Além dessas características gerais e da sua classificação, a madeira possui propriedades que a tornam única para aplicações estruturais, como elevada relação resistência/peso, baixo custo energético de produção e facilidade de trabalho. De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003), “a resistência mecânica da madeira depende diretamente de suas características anatômicas e do teor de umidade, fatores que influenciam na performance estrutural”.

A respeito das propriedades físicas da madeira, a anisotropia é uma propriedade de extrema relevância no estudo do comportamento estrutural da madeira. Devido à sua estrutura celular orientada, a madeira é um material

anisotrópico, o que significa que suas propriedades variam conforme a direção em que são medidas. Conforme Pfeil (2003), essa característica se manifesta em três direções principais: longitudinal (paralela às fibras), radial e tangencial. Embora existam diferenças entre as direções radial e tangencial, na prática, o mais relevante é distinguir as propriedades na direção das fibras principais (longitudinal) e na direção perpendicular a elas. A anisotropia da madeira é, portanto, um fator determinante no dimensionamento de estruturas, pois as resistências utilizadas nos cálculos dos elementos são diretamente dependentes da orientação das fibras em relação aos esforços aplicados, evidenciando a importância de considerar essa propriedade para garantir a segurança e o desempenho adequado das estruturas de madeira.

Entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira, a umidade se destaca como um fator crucial para o seu desempenho estrutural. De acordo com Dias e Lahr (2004), a umidade influencia diretamente a resistência mecânica e a estabilidade dimensional, uma vez que altera a estrutura celular da madeira. A madeira pode ser classificada de acordo com seu teor de umidade, e a variação desse fator impacta diretamente sua resistência mecânica e estabilidade volumétrica. A secagem adequada é essencial para minimizar problemas de retração e inchamento, garantindo maior durabilidade da estrutura.

Outra propriedade fundamental para o dimensionamento de elementos estruturais é a resistência à compressão. A resistência à compressão paralela às fibras é uma das principais características estruturais, sendo essencial para elementos verticais como pilares e montantes. Conforme Calil Junior, Lahr e Dias (2003), esse parâmetro depende da densidade da madeira, da sua composição celular e do teor de umidade. Em contrapartida, a resistência à compressão perpendicular às fibras influencia diretamente o desempenho de apoios e ligações estruturais, uma vez que determina a capacidade da madeira de suportar cargas distribuídas sem deformação excessiva.

Além da resistência à compressão, a resistência ao cisalhamento é relevante para situações em que ocorrem esforços tangenciais, como em vigas e encaixes estruturais. Segundo Silva e Souza (2018), o cisalhamento constitui uma das principais causas de falha em construções de madeira, o que torna de extrema

importância implementar medidas preventivas para assegurar a estabilidade estrutural sob carga.

Para elementos sujeitos a flexão, a resistência à flexão é um fator crucial para o dimensionamento de vigas e painéis estruturais, sendo fortemente influenciada pela disposição das fibras e pelo teor de umidade da madeira. Elementos submetidos à flexão devem ser cuidadosamente projetados para evitar colapsos estruturais prematuros.

No que tange as conexões, a resistência ao embutimento é um fator crucial no dimensionamento de ligações e conexões estruturais, pois define a capacidade de carga de elementos de fixação como parafusos (Stamato e Calil Junior, 2001). A negligência desse aspecto pode comprometer a estabilidade das uniões, levando a deformações excessivas e falhas na estrutura.

Além das resistências específicas, outras propriedades importantes incluem o módulo de elasticidade, que define a rigidez da madeira e sua capacidade de deformação sob cargas aplicadas, e o coeficiente de variação dimensional, que descreve a susceptibilidade à variação de umidade ambiental. Esses parâmetros são fundamentais para o dimensionamento estrutural e influenciam diretamente a segurança e durabilidade das estruturas de madeira.

Para garantir a segurança e a eficiência no cálculo de estruturas de madeira, são aplicados os coeficientes de modificação. Estes são fatores de ajuste aplicados ao cálculo estrutural para levar em consideração condições específicas de uso e carregamento da madeira. Esses coeficientes incluem fatores de correção para a umidade, a duração do carregamento, a espécie da madeira e as condições ambientais. Segundo Dias e Lahr (2004), a consideração adequada desses coeficientes é essencial para garantir um dimensionamento seguro e eficiente, permitindo que a estrutura tenha um comportamento previsível ao longo do tempo. A versão de 2022 da NBR 7190 aprimorou esses coeficientes, introduzindo ajustes mais precisos para diferentes cenários de utilização da madeira.

## 2.2 TIPOS DE MADEIRA NA CONSTRUÇÃO

A diversidade de aplicações da madeira na construção civil é vasta, e essa versatilidade é ampliada pela variedade de formas em que o material pode ser empregado. Sua utilização na construção civil abrange desde estruturas primárias até elementos de acabamento, devido às suas propriedades mecânicas, estéticas e sustentáveis. No entanto, a madeira não é um material homogêneo; ela se apresenta em diferentes formas e com distintas características, dependendo do processamento a que é submetida. Compreender os principais tipos de madeira utilizados na construção é fundamental para a seleção adequada do material em cada projeto, garantindo a segurança, durabilidade e eficiência das edificações.

Este tópico abordará os principais tipos de madeira empregados na construção civil, com foco em suas características, métodos de produção e aplicações mais comuns. Serão detalhados a madeira serrada, a madeira roliça, a madeira laminada colada (MLC), a madeira laminada cruzada (CLT) e a madeira compensada, destacando suas particularidades e a relevância de cada uma no cenário construtivo.

### 2.2.1 *Madeira Serrada*

A madeira serrada é um dos tipos mais tradicionais e amplamente utilizados na construção civil. Ela é obtida diretamente do tronco da árvore por meio de processos de corte e desdobro em serrarias, resultando em peças com seções transversais retangulares ou quadradas, como tábuas, pranchas, vigas, caibros e sarrafos. A versatilidade da madeira serrada permite sua aplicação em diversas etapas da obra, desde a estrutura principal até elementos de acabamento e mobiliário.

Para a obtenção de madeira serrada de qualidade, é preferível que as árvores sejam abatidas ao atingir a maturidade, período em que o cerne representa a maior parte do tronco, resultando em um material superior. O tempo para que uma árvore alcance essa maturidade varia conforme a espécie, podendo estender-se por até cem anos. A estação seca é considerada a mais adequada para o corte, pois o tronco apresenta menor teor de umidade. O desdobramento do tronco em peças deve ser realizado o mais rapidamente possível após o abate, a fim de prevenir deformações causadas pela secagem. Caso o corte ocorra na estação chuvosa, as toras devem

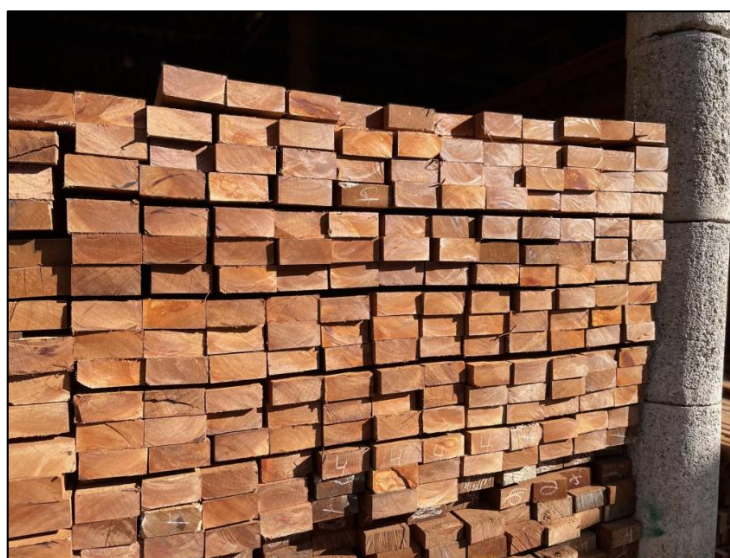
passar por um período de secagem prévia para reduzir o excesso de umidade (Pfeil, 2003).

Antes de ser empregada em construções, a madeira serrada necessita de um período de secagem para diminuir seu teor de umidade. Esse processo de secagem pode induzir deformações transversais diferenciadas nas peças, dependendo da sua posição original no tronco. Portanto, é fundamental que a madeira seja utilizada já seca, ou seja, com um grau de umidade em equilíbrio com a umidade relativa do ar, evitando assim danos estruturais como empenamentos e rachaduras decorrentes da secagem (Pfeil, 2003).

No que diz respeito às suas características, a facilidade de manuseio e trabalhabilidade são aspectos que permitem cortes, ajustes e encaixes com relativa simplicidade. A madeira serrada é empregada em estruturas de telhados, lajes, pisos, paredes e na confecção de fôrmas para concreto. A escolha da espécie de madeira e o tratamento adequado são cruciais para garantir a durabilidade e resistência das peças, especialmente em ambientes sujeitos à umidade ou ataque de agentes biológicos.

A Figura 1 ilustra as características visuais da madeira serrada da espécie Maçaranduba (*Manilkara sp.*).

Figura 1 – Madeira serrada da espécie Maçaranduba



Fonte: Madeireira São Francisco (2024).

### 2.2.2 Madeira Roliça

A madeira roliça, também conhecida como madeira bruta ou toras, refere-se à madeira que mantém sua forma cilíndrica original, com pouca ou nenhuma alteração em sua seção transversal, exceto pela remoção da casca e, em alguns casos, um leve desbaste. Geralmente, é utilizada em seu estado natural ou após um tratamento para aumentar sua durabilidade e resistência a intempéries e ataques de pragas. No Brasil, o pinho-do-paraná e os eucaliptos são exemplos de roliços frequentemente empregados (Pfeil, 2003).

Para a obtenção de madeira roliça adequada, o abate das árvores deve ocorrer preferencialmente na estação seca, período em que o tronco apresenta menor teor de umidade. Após o corte, a casca deve ser removida, e o tronco deve ser submetido a um processo de secagem em local arejado e protegido da exposição solar direta (Pfeil, 2003).

É crucial que a madeira roliça passe por um período de secagem adequado antes de ser utilizada, pois a ausência desse processo pode resultar em retrações transversais significativas, provocando rachaduras nas extremidades das peças. Em estruturas como contraventamentos, a utilização de madeira verde, especialmente quando aparafusada, pode comprometer a eficácia desses elementos devido à fissuração das extremidades. Para mitigar a ocorrência de rachaduras nas extremidades, é aconselhável revestir as seções de corte com alcatrão ou outro material impermeabilizante. Recomenda-se que as madeiras roliças sejam empregadas em condições de umidade que variem de meio seca a seca ao ar (Pfeil, 2003).

As aplicações da madeira roliça são diversas e incluem estruturas rústicas, mourões, postes, cercas, pergolados, elementos paisagísticos e até mesmo em estruturas de telhados e galpões. A seleção da madeira roliça deve considerar o diâmetro, o comprimento e a retidão das peças, além da espécie e do tratamento aplicado, para garantir a adequação ao uso pretendido.

A Figura 2 ilustra a utilização da madeira roliça como elemento estrutural.

Figura 2 – Utilização da madeira roliça em pilares



Fonte: ArchDaily Brasil (2020).

### 2.2.3 Madeira Laminada Colada (MLC)

A madeira laminada colada (MLC) é um material estrutural fabricado a partir da união de lâminas de madeira selecionadas, que são coladas sob pressão. As fibras dessas lâminas são orientadas paralelamente, e sua espessura geralmente varia de 1,5 cm a 3,0 cm, podendo, em casos específicos, atingir até 5 cm. As lâminas podem ser emendadas nas extremidades com cola para formar peças de grande comprimento (Pfeil, 2003).

As etapas de fabricação da MLC, conforme descrito por Callia (1958, apud Pfeil, 2003), incluem:

- Secagem das lâminas;
- Preparo das lâminas;
- Execução de juntas de emendas;
- Colagem sob pressão;
- Acabamento e tratamento preservativo.

Em comparação com a madeira maciça, a madeira laminada colada oferece diversas vantagens, tais como (Pfeil, 2003):

- a) Possibilidade de produzir peças de grandes dimensões, superando as limitações de tamanho da madeira serrada;
- b) Melhor controle da umidade das lâminas, o que reduz a ocorrência de defeitos causados por secagem irregular;
- c) Permite a seleção estratégica da qualidade das lâminas, posicionando as de melhor desempenho nas áreas de maiores tensões;
- d) Viabiliza a construção de peças com eixo curvo, ideais para elementos arquitetônicos como arcos, tribunas e cascas.

Contudo, a principal desvantagem da madeira laminada colada reside em seu custo, que é superior ao da madeira serrada (Pfeil, 2003).

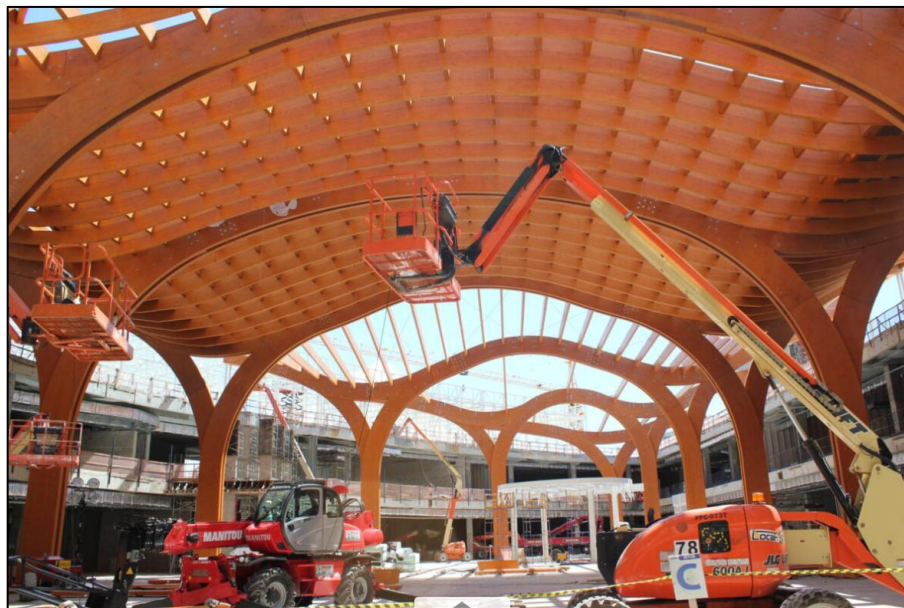
As aplicações da madeira laminada colada (MLC) são vastas e abrangem desde estruturas de grande porte até elementos arquitetônicos complexos. Devido à sua capacidade de vencer grandes vãos e à versatilidade que permite a criação de peças curvas, a MLC é amplamente empregada em coberturas de ginásios, pontes, passarelas, igrejas e edifícios comerciais e residenciais. Além de vigas e pilares, também é utilizada em pergolados, escadas e painéis, oferecendo soluções estruturais e estéticas que combinam alta performance e um apelo visual diferenciado no cenário da construção civil moderna.

Nos últimos anos, produtos engenheirados, como a madeira laminada colada (MLC), têm ganhado destaque. Melhado (2008) destaca que “a MLC permite a utilização de madeiras menos nobres, agregando valor e viabilizando projetos de maior porte”.

A Figura 3 ilustra a montagem das peças de madeira laminada colada utilizadas na cobertura do *Shopping Iguatemi* Fortaleza.



Figura 3 – Montagem das peças de madeira laminada colada da cobertura do *Shopping Iguatemi Fortaleza*



Fonte: Timbau Estruturas (2021).

#### 2.2.4 Madeira Laminada Cruzada (CLT)

A madeira laminada cruzada, ou CLT (do inglês *cross-laminated timber*), destaca-se como um produto de madeira engenheirada de alto desempenho. Sua concepção se baseia na colagem de camadas de tábuas de madeira maciça, posicionadas de forma perpendicular entre si. Essa laminação cruzada confere aos painéis uma notável rigidez e estabilidade em suas duas direções principais, superando as limitações dimensionais da madeira convencional (Gagnon e Pirvu, 2011). Essa característica inerente permite que o material resista a elevadas cargas estruturais, tornando-se uma alternativa competitiva a materiais como o concreto armado em diversas aplicações.

Uma das principais vantagens do CLT é a sua elevada relação entre resistência e peso. Os painéis são significativamente mais leves que elementos de concreto com capacidade de carga similar, o que resulta em uma redução considerável das cargas transferidas para as fundações do edifício. Essa leveza também simplifica a logística de transporte e a montagem no canteiro de obras, otimizando o cronograma da construção (Brandner et al., 2016). Adicionalmente, o processo de fabricação

industrial permite um controle de qualidade rigoroso e a entrega de painéis pré-cortados com precisão milimétrica, o que acelera a montagem e minimiza a geração de resíduos na obra.

No que tange à segurança contra incêndios, o CLT apresenta um comportamento previsível e seguro. Quando exposto às chamas, a superfície do painel de madeira desenvolve uma camada carbonizada que atua como um isolante térmico, protegendo o núcleo estrutural do painel e retardando a perda de sua capacidade portante. Esse processo de carbonização ocorre a uma taxa lenta e calculável, permitindo que a estrutura mantenha sua integridade por um período suficiente para a evacuação segura do edifício (Gagnon e Pirvu, 2011).

Do ponto de vista da sustentabilidade, o CLT oferece benefícios significativos. A madeira, matéria-prima principal, é um recurso renovável que sequestra e armazena carbono atmosférico ao longo de seu crescimento. O processo produtivo do CLT consome menos energia e possui uma pegada de carbono inferior quando comparado à produção de aço e cimento, contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa no setor da construção civil (Brandner et al., 2016).

A Figura 4 ilustra as camadas de um painel de CLT.

Figura 4 – Configuração construtiva de um painel de CLT



Fonte: Oliveira (2018).

### 2.2.5 Madeira Compensada

A madeira compensada, também conhecida como contraplacado, é um painel engenheirado produzido a partir da colagem de um número ímpar de finas lâminas de madeira. Essas camadas são unidas com adesivos sob alta pressão, e sua principal característica reside na disposição das fibras: as lâminas são sobrepostas de modo que as fibras de uma camada sejam perpendiculares às da camada adjacente. Essa técnica de laminação cruzada é fundamental para conferir ao painel uma maior estabilidade dimensional e resistência mecânica em múltiplas direções, pois, ao alternar a orientação das fibras, obtém-se um produto com comportamento mais isotrópico em comparação à madeira maciça (Pfeil, 2003).

As vantagens do compensado sobre a madeira maciça são notáveis. A estrutura laminada reduz significativamente a tendência de retração, inchamento e empenamento, além de minimizar o surgimento de trincas durante a cravação de pregos. Conforme aponta Pfeil (2003), essa configuração estrutural também permite a fabricação de painéis de grandes dimensões com defeitos controlados e otimiza a resistência do material em estados de tensões biaxiais, como os que ocorrem na alma de vigas. Existem diferentes tipos de compensado, como o comum e o naval, que se diferenciam pelo adesivo empregado e pela resistência à umidade, sendo aplicados em fôrmas para concreto, tapumes, divisórias, pisos e na indústria moveleira.

A Figura 5 ilustra o aspecto visual da madeira compensada.

Figura 5 - Aspecto visual da madeira compensada



Fonte: Leroy Merlin (2023).

## **2.3 A NORMA BRASILEIRA NBR 7190**

A regulamentação do uso da madeira em estruturas no Brasil remonta à primeira versão da NBR 7190, publicada em 1945, que estabelecia critérios iniciais para o dimensionamento de elementos estruturais de madeira. Este documento normativo foi posteriormente revisado em 1951 e novamente em 1982, refletindo os avanços técnicos da época. A edição de 1997, por sua vez, representou uma reformulação significativa, consolidando as bases do dimensionamento moderno da madeira no país, à época de sua publicação, até a sua atualização em 2022.

A versão de 1997 da NBR 7190 representou um avanço importante na regulamentação do uso da madeira como elemento estrutural no Brasil. Essa edição da norma forneceu bases teóricas e empíricas para a utilização segura do material, levando em conta parâmetros como resistência à compressão paralela e perpendicular às fibras, módulo de elasticidade e coeficientes de modificação.

Entre as principais contribuições dessa versão estavam os coeficientes de modificação que permitiam ajustar as propriedades da madeira em função das condições de uso, como teor de umidade e tipo de carregamento. Contudo, a norma apresentava limitações quanto à inclusão de diretrizes específicas de produtos industrializados e soluções inovadoras, que se tornaram mais prevalentes nos últimos anos.

A revisão de 2022 trouxe avanços significativos, ampliando o escopo da norma para atender às demandas atuais da construção civil. Uma das inovações mais importantes foi a inclusão de diretrizes específicas para produtos de madeira engenheirada, como madeira laminada colada (MLC) e madeira laminada cruzada (CLT). Essas tecnologias permitem o uso eficiente de recursos florestais, promovendo a sustentabilidade e viabilizando projetos de maior complexidade e escala.

Adicionalmente, a nova versão aprimorou os critérios para análise de ligações estruturais, com métodos mais precisos para o cálculo de forças e esforços em elementos de conexão. Outra atualização relevante foi a ênfase na sustentabilidade, com a inclusão de requisitos para manejo florestal responsável e redução do impacto ambiental.

De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003), a atualização da NBR 7190 da versão de 1982 para a versão de 1997, representa um avanço importante para o setor, ao alinhar-se com padrões internacionais e atender às especificidades do mercado nacional. Ainda segundo Calil Junior (2009), a atualização normativa contribui para uma maior segurança e eficiência em projetos estruturais, especialmente em construções de grande porte.

## **2.4 BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA**

De acordo com Melhado (2008), o emprego de madeira laminada em edificações comerciais e residenciais tem se mostrado eficaz em termos de desempenho estrutural e redução de impactos ambientais. Além disso, construções como escolas e ginásios esportivos em madeira reforçam a versatilidade desse material no cenário nacional.

Em muitos contextos, a madeira pode oferecer vantagens em relação a outros materiais, como concreto e aço, devido ao seu custo de produção mais baixo e à facilidade de execução. De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003), a construção com madeira pode reduzir significativamente o tempo de obra, além de oferecer flexibilidade para futuras modificações.

Entre os principais benefícios do uso da madeira estão sua sustentabilidade, leveza e alta resistência. A madeira é considerada um material de baixa pegada de carbono, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. Segundo Calil Junior, Lahr e Dias (2003), “a utilização de madeira em construções contribui para a redução das emissões de carbono, especialmente quando comparada a materiais como concreto e aço”. No entanto, a madeira apresenta limitações, como vulnerabilidade a agentes biológicos (fungos e cupins) e variações dimensionais devido à umidade.

Com os avanços em tratamentos preservativos e sistemas de proteção, muitas dessas limitações podem ser mitigadas, ampliando o uso da madeira como material estrutural em diversos contextos. Para Foelkel (2011), os avanços tecnológicos têm

viabilizado a aplicação da madeira em projetos cada vez mais inovadores e ecologicamente responsáveis.

## **2.5 DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA**

Apesar de suas inúmeras vantagens, como a sustentabilidade e o bom desempenho estrutural, a madeira como material de construção apresenta certas desvantagens que devem ser cuidadosamente consideradas durante a fase de projeto e ao longo da vida útil da edificação. O conhecimento desses pontos fracos é fundamental para garantir a segurança, a durabilidade e a viabilidade econômica de uma estrutura.

Uma das principais desvantagens é a suscetibilidade a agentes biológicos. Organismos como fungos e cupins podem se instalar na madeira para se alimentar de seus componentes, causando sua deterioração. A vulnerabilidade de uma peça de madeira a esse ataque depende de fatores como a espécie da árvore, a região do tronco de onde foi extraída (sendo o alburno mais sensível que o cerne) e, crucialmente, das condições ambientais a que a estrutura é exposta, como ciclos de umidade e contato com o solo (Pfeil, 2003). Para mitigar esse risco, são necessários tratamentos com produtos preservativos e a adoção de detalhes construtivos que protejam o material.

Outro ponto crítico é a sua combustibilidade. Embora seja frequentemente percebida como um material de baixa resistência ao fogo, a madeira estrutural, quando dimensionada adequadamente, pode apresentar um bom desempenho em situação de incêndio. Peças robustas queimam de forma lenta e previsível, mantendo um núcleo com resistência inalterada por um certo período. Contudo, o material ainda é combustível, e elementos de menor dimensão (peças esbeltas) e as ligações metálicas são particularmente vulneráveis e exigem proteção. Portanto, a segurança contra incêndio em estruturas de madeira depende de um projeto cuidadoso e, em muitos casos, de tratamentos com retardantes de chamas (Pfeil, 2003).

A variabilidade de suas propriedades mecânicas também representa um desafio. Por ser um material natural e anisotrópico, a resistência e a rigidez da madeira

podem variar significativamente não apenas entre espécies diferentes, mas também dentro da mesma espécie ou até na mesma peça de madeira, dependendo da direção das fibras e da presença de defeitos naturais como nós e fendas (Logsdon, 1999). Essa heterogeneidade exige a aplicação de coeficientes de segurança mais rigorosos no dimensionamento e um controle de qualidade mais estrito na seleção do material.

Por fim, a instabilidade dimensional decorrente da variação de umidade é uma desvantagem notável. A madeira é um material higroscópico, ou seja, troca umidade com o ambiente, resultando em fenômenos de contração e inchamento. Essas variações dimensionais podem causar o surgimento de fendas, empenamentos e distorções nas peças estruturais, além de afetar as ligações entre os elementos (Moliterno, 1986). O controle da umidade desde a secagem inicial até a proteção da estrutura em serviço é, portanto, essencial para a estabilidade e durabilidade da construção.

## **2.6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO**

O presente tópico apresenta os critérios de dimensionamento estabelecidos pela NBR 7190, considerando as versões de 1997 e 2022. São apresentados os principais parâmetros, equações e tabelas normativas utilizadas para as verificações de Estados-Limite Últimos (ELU) e Estados-Limite de Serviço (ELS).

### *2.6.1 Classificação e propriedades da madeira*

#### *2.6.1.1 Versão de 1997*

Para as espécies usuais, a Norma, na ausência de determinação experimental, permite-se adotar as seguintes relações para os valores característicos das resistências:

$$f_{c0,k}/f_{t0,k}=0,77$$

$$f_{tM,k}/f_{t0,k}=1,0$$

$$f_{c90,k}/f_{c0,k}=0,25$$

$$f_{e0,k}/f_{c0,k}=1,0$$

$$f_{e90,k}/f_{c0,k}=0,25$$

Para coníferas:  $f_{v0,k}/f_{c0,k}=0,15$

Para dicotiledôneas:  $f_{v0,k}/f_{c0,k}=0,12$

Onde:

$f_{c0,k}$  é a resistência característica à compressão paralela às fibras;

$f_{t0,k}$  é a resistência característica à tração paralela às fibras;

$f_{tM,k}$  é a resistência característica média à tração paralela às fibras;

$f_{c90,k}$  é a resistência característica à compressão normal às fibras;

$f_{e0,k}$  é a resistência característica de embutimento paralelo às fibras;

$f_{e90,k}$  é a resistência característica de embutimento normal às fibras.

Para o uso desses valores no dimensionamento, a Norma estabelece que o valor característico da resistência deve ser considerado como 70% do valor médio da espécie. Essa relação é expressa pela equação:

$$f_{wk,12} = 0,70 * f_{wm,12} \quad (Eq. 1)$$

As Figuras 6 e 7 da Norma apresentam as classes de resistências para madeiras dicotiledôneas e coníferas.

Figura 6 – Valores para as classes de resistência das coníferas, conforme a Tabela 8 da NBR 7190:1997

**Tabela 8 - Classes de resistência das coníferas**

Coníferas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0k}$ MPa	$f_{vk}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	<sup>1)</sup> $\rho_{bas,m}$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	3 500	400	500
C 25	25	5	8 500	450	550
C 30	30	6	14 500	500	600
<sup>1)</sup> Como definida em 6.1.2.					

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.



Figura 7 – Valores para as classes de resistência das dicotiledôneas, conforme a Tabela 9 da NBR 7190:1997

**Tabela 9 - Classes de resistência das dicotiledôneas**

Dicotiledôneas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{cdk}$ MPa	$f_{vk}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	<sup>1)</sup> $\rho_{bas,m}$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{aparente}$ kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	9 500	500	650
C 30	30	5	14 500	650	800
C 40	40	6	19 500	750	950
C 60	60	8	24 500	800	1 000
<sup>1)</sup> Como definida em 6.1.2.					

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Para a obtenção dos valores de cálculo, a Norma utiliza a equação:

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_w} \quad (Eq. 2)$$

em que  $X_k$  é o valor característico,  $\gamma_w$  é o coeficiente de minoração das propriedades da madeira e  $k_{mod}$  é o coeficiente de modificação.

Este coeficiente é formado por três fatores:

$$k_{mod} = k_{mod1} * k_{mod2} * k_{mod3} \quad (Eq. 3)$$

O  $k_{mod1}$  leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material, o  $k_{mod2}$  considera a classe de umidade e o  $k_{mod3}$  avalia se a madeira é de primeira ou segunda categoria. A madeira só pode ser considerada de primeira categoria caso todas as peças sejam isentas de defeitos, avaliadas por inspeção visual e classificadas mecanicamente.

As Figuras 8 e 9 apresentam os valores de  $k_{mod1}$  e  $k_{mod2}$ .

Figura 8 – Valores de  $k_{mod1}$ , conforme a Tabela 10 da NBR 7190:1997

**Tabela 10 - Valores de  $k_{mod,1}$**

Classes de carregamento	Tipos de madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa duração	0,70	0,45
Média duração	0,80	0,65
Curta duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Figura 9 – Valores de  $k_{mod2}$ , conforme a Tabela 11 da NBR 7190:1997

**Tabela 11 - Valores de  $k_{mod,2}$**

Classes de umidade	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
(1) e (2)	1,0	1,0
(3) e (4)	0,8	0,9

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Para o  $k_{mod3}$ , se a madeira for de primeira categoria o valor é 1,0 e se a madeira for de segunda categoria o valor é 0,8.

O módulo de elasticidade efetivo é calculado pela seguinte expressão:

$$E_{c0,ef} = k_{mod1} * k_{mod2} * k_{mod3} * E_{c0,m} \quad (Eq. 4)$$

em que  $E_{c0,m}$  é o módulo de elasticidade médio da madeira.

#### 2.6.1.2 Versão de 2022

As Figuras 10 e 11 apresentam as classes de resistência da versão de 2022 da NBR 7190.

Figura 10 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos, conforme a Tabela 2 da NBR 7190:2022

Tabela 2 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos				
Classes	$f_{c0k}$ MPa	$f_{v0,k}$ MPa	$E_{c0,med}$ MPa	Densidade a 12 % kg/m³
D20	20	4	10 000	500
D30	30	5	12 000	625
D40	40	6	14 500	750
D50	50	7	16 500	850
D60	60	8	19 500	1 000
NOTA 1 Os valores desta Tabela foram obtidos de acordo com a ABNT NBR 7190-3.				
NOTA 2 Valores referentes ao teor de umidade igual a 12 %.				
NOTA 3 Os valores das classes de resistência para espécies nativas estão disponíveis na ABNT NBR 7190-3:2022, Tabela A.1.				

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

Figura 11 – Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais, conforme a Tabela 3 da NBR 7190:2022

Tabela 3 – Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais																					
		Coníferas												Folhosas							
	Símbolo	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propriedades de resistência MPa																					
Flexão	$f_{b,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tração paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tração perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compressão perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	11	13,5
Cisalhamento	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propriedades de rigidez GPa																					
Módulo de elasticidade a 0° médio	$E_{0,m}$	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidade a 0° caracterís ico	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10	11	8	8,5	9,2	10	11	12	14	16,8
Módulo de elasticidade a 90° médio	$E_{90,m}$	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	1,1	1,33
Módulo de elasticidade transversal médio	$G_m$	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,25
Densidade kg/m³																					
Densidade característica	$\rho_k$	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	560	620	700	900
Densidade média	$\rho_m$	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080
Nota 1	Valores obtidos conforme a ABNT NBR 7190-4.																				
Nota 2	Valores referentes ao teor de umidade igual a 12 %																				

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

Em relação ao módulo de elasticidade, a versão de 2022 estabelece que, nas verificações de estabilidade, o valor característico pode ser obtido pela expressão:

$$E_{00,5} = 0,7 * E_{c0,m} \text{ (Eq. 5)}$$

em que  $E_{c0,m}$  é o módulo de elasticidade médio da madeira.

O módulo efetivo para verificações relacionadas à estabilidade lateral das vigas deve ser calculado como:

$$E_{c0,ef} = k_{mod1} * k_{mod2} * E_{c0,m} \text{ (Eq. 6)}$$

O valor de cálculo de uma propriedade continua sendo definido pela mesma equação adotada anteriormente.

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_w} \text{ (Eq. 7)}$$

Contudo, nesta versão, o coeficiente de modificação  $k_{mod}$  passou a ser formado apenas por dois fatores:

$$k_{mod} = k_{mod1} * k_{mod2} \text{ (Eq. 8)}$$

em que o  $k_{mod1}$  se refere à classe de carregamento e o  $k_{mod2}$  à classe de umidade.

As Figuras 12 e 13 mostram os valores para os coeficientes  $k_{mod1}$  e  $k_{mod2}$ .

Figura 12 – Valores de  $k_{mod1}$ , conforme a Tabela 4 da NBR 7190:2022

Tabela 4 – Definição de classes de carregamento e valores de  $k_{mod1}$

Classes de carregamento	Ação variável principal da combinação		Tipos de madeira	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
Permanente	Permanente	Mais de dez anos	0,60	0,30
Longa duração	Longa duração	Seis meses a dez anos	0,70	0,45
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses	0,80	0,65
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana	0,90	0,90
Instantânea	Instantânea	Muito curta	1,10	1,10

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

Figura 13 – Valores de  $k_{mod2}$ , conforme a Tabela 5 da NBR 7190:2022

Tabela 5 – Valores de $k_{mod2}$		
Classes de umidade	Madeira serrada Madeira roliça Madeira lamelada colada (MLC) Madeira lamelada colada cruzada (MLCC) Madeira laminada colada (LVL)	Madeira recomposta
(1)	1,00	1,00
(2)	0,90	0,95
(3)	0,80	0,93
(4)	0,70 <sup>a</sup>	0,90
<sup>a</sup> Não é permitido o uso do MLCC para classe de umidade (4).		

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

## 2.6.2 Ações e combinações de ações

### 2.6.2.1 Versão de 1997

No capítulo 5 da versão de 1997 da norma são abordadas as considerações sobre ações e combinações de ações nas estruturas de madeira.

A norma classifica as ações de acordo com sua duração:

- Ações permanentes (peso próprio, cargas fixas)
- Ações variáveis (cargas móveis, vento, etc.)
- Ações excepcionais (explosões, choques)

A Figura 14 apresenta as classes de carregamento definidas na Tabela 1 da norma.

Figura 14 – Classes de carregamento, segundo a Tabela 1 da NBR 7190:2022

**Tabela 1 - Classes de carregamento**

Classe de carregamento	Ação variável principal da combinação	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana
Duração instantânea	Duração instantânea	Muito curta

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

Os valores característicos das ações variáveis são determinados pelas normas brasileiras referentes aos variados tipos de construção. O peso próprio, classificado como ação permanente, em seu valor característico, deve ser determinado em função das dimensões da estrutura e do peso específico do material. Esse cálculo é feito considerando a madeira com umidade  $U = 12\%$ .

Para outras ações permanentes, o texto define valores característicos e valor médio para a determinação, sendo o valor característico superior  $G_{k,sup}$  maior que o valor médio  $G_m$  e o valor característico inferior  $G_{k,inf}$  menor que o valor médio  $G_m$ .

A Figura 15 apresenta os fatores de combinação e de utilização, conforme a Tabela 2 da Norma.

Figura 15 – Valores referentes aos fatores de combinação e de utilização, conforme a Tabela 2 da NBR 7190:1997

**Tabela 2 - Fatores de combinação e de utilização**

Ações em estruturas correntes	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2 <sup>1)</sup>
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2 <sup>1)</sup>
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4 <sup>1)</sup>
<sup>1)</sup> Admite-se $\psi_2 = 0$ quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.			

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

As ações usuais para projetos de estruturas de madeira são:

- carga permanente
- cargas acidentais verticais
- impacto vertical
- impacto lateral
- forças longitudinais
- força centrífuga
- vento

O texto apresenta as características de cada ação usual, bem como as situações em que cada ação deve ser considerada.

Os valores de cálculo das ações permanentes são determinados pelo produto do valor característico e do respectivo coeficiente de ponderação  $\gamma_f$ .

Para as ações variáveis, a Figura 16 apresenta os coeficientes de ponderação de acordo com o tipo de combinação.

Figura 16 – Valores das ações variáveis, conforme a Tabela 6 da NBR 7190:1997

**Tabela 6 - Ações variáveis**

Combinações	Ações variáveis em geral, incluídas as cargas acidentais móveis	Efeitos da temperatura
Normais	$\gamma_Q = 1,4$	$\gamma_\epsilon = 1,2$
Especiais ou de construção	$\gamma_Q = 1,2$	$\gamma_\epsilon = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_Q = 1,0$	$\gamma_\epsilon = 0$

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

### 2.6.2.2 Versão de 2022

A respeito dos coeficientes de ponderação e os fatores de ponderação, a versão de 2022 da Norma informa que estes são definidos na ABNT NBR 8681. Esses valores são utilizados para a determinação dos valores de cálculo das ações e as combinações de ações em estados-limite últimos.

Ainda sobre a determinação dos coeficientes e fatores de combinação, a Norma indica que deve ser considerada a influência da duração do carregamento na resistência da madeira. Como alternativa, é permitido considerar os carregamentos como sendo de longa duração. Para esse caso, as ações consideradas como principais na combinação e que tenham um tempo de atuação muito reduzido (vento ou a parcela das cargas móveis devida ao impacto) devem ser multiplicadas por 0,75.

Para a determinação dos valores de cálculo das ações, o texto normativo explica que devem ser utilizadas as correspondentes combinações últimas de ações para cada situação de projeto:

- uso normal da construção (combinações últimas normais)
- transitórias (combinações últimas especiais ou de construção)
- excepcionais (combinações últimas excepcionais)

Para cada estrutura particular, devem ser especificadas as situações de projeto a considerar, não sendo necessário considerar as três possíveis situações de projeto em todos os tipos de construção.



Para as ações permanentes diretas consideradas separadamente, em elementos estruturais de madeira, o texto normativo recomenda os seguintes valores para os coeficientes de ponderação ( $\gamma_g$ ) para as combinações últimas normais, para as combinações desfavoráveis especiais ou de construção e para as combinações excepcionais, respectivamente.

- a)  $\gamma_g = 1,3$ ;  $\gamma_g = 1,2$ ;  $\gamma_g = 1,15$ ; para elementos estruturais de madeira em geral;
- b)  $\gamma_g = 1,25$ ;  $\gamma_g = 1,15$ ;  $\gamma_g = 1,10$ ; para elementos estruturais industrializados de madeira.

### 2.6.3 Coeficientes de segurança

#### 2.6.3.1 Versão de 1997

Para a majoração das cargas, o valor básico do coeficiente de ponderação é de  $\gamma_f = 1,4$ .

Já para as resistências, os coeficientes de ponderação variam conforme o tipo de solicitação:

- $\gamma_{wc} = 1,4$  – para tensões de compressão paralela às fibras;
- $\gamma_{wt} = 1,8$  – para tensões de tração paralela às fibras;
- $\gamma_{wv} = 1,8$  – para tensões de cisalhamento paralelo às fibras.

A versão traz também o coeficiente de ponderação para estados limites de utilização, com valor básico  $\gamma_w = 1,0$ .

#### 2.6.3.2 Versão de 2022

Para a majoração das cargas, o coeficiente de ponderação das ações permanece  $\gamma_f = 1,4$ .

Quanto às resistências dos materiais, o coeficiente de minoração adotado para os estados-limite últimos (ELU) é:

- $\gamma_w = 1,4$  – para tensões normais, tanto de compressão quanto de tração;
- $\gamma_w = 1,8$  – para tensões de cisalhamento.

A versão de 2022 apresenta um coeficiente de ponderação para estados limites de serviço, com valor básico  $\gamma_w = 1,0$ .

#### 2.6.4 Tensões normais

##### 2.6.4.1 Versão de 1997

Na versão de 1997 da NBR 7190, a análise das tensões normais é dividida entre tração e compressão. Para a tração, a Norma estabelece que a condição de segurança é satisfeita quando:

$$\sigma_{td} \leq f_{td}$$

Permite-se ignorar a inclinação das fibras da madeira em relação ao eixo longitudinal da peça até um ângulo de  $6^\circ$ , fazendo-se:

$$f_{td} \leq f_{t0,d}$$

Para ângulos maiores, deve-se aplicar a fórmula de *Hankinson* para considerar a redução da resistência, expressa por:

$$f_{\alpha} = \frac{f_0 * f_{90}}{f_0 \sin^2 \alpha + f_{90} \cos^2 \alpha} \quad (Eq. 9)$$

Fazendo-se então:

$$f_{td} = f_{t\alpha,d}$$

Para a compressão, a abordagem é semelhante. Em barras curtas comprimidas axialmente, a condição de segurança é expressa por:

$$\sigma_{cd} \leq f_{cd}$$

Também é ignorada a inclinação das fibras até  $6^\circ$ , utilizando-se:

$$f_{cd} \leq f_{c0,d}$$

Para inclinações superiores, a fórmula de *Hankinson* é novamente utilizada para ajustar a resistência

$$f_{cd} = f_{c\alpha,d}$$

Além disso, a Norma trata das peças submetidas à compressão perpendicular às fibras, estabelecendo que

$$\sigma_{c90,d} \leq f_{c90,d}$$

A equação da compressão perpendicular às fibras é usualmente expressa por:

$$\sigma_{c90,d} = \frac{R_d}{b * c} \quad (Eq. 10)$$

Em que:

$\sigma_{c90,d}$  é a tensão de compressão perpendicular às fibras (kN/cm<sup>2</sup>);

$R_d$  é o valor da máxima força cortante (kN);

$b$  a largura da seção transversal da viga (cm);

$c$  o comprimento do apoio (cm).

Sendo a resistência à compressão perpendicular às fibras dada por:

$$f_{c90,d} = 0,25 * f_{c0,d} * \alpha_n \quad (Eq. 11)$$

Onde  $f_{c90,d}$  e  $f_{c0,d}$  são expressos em kN/cm<sup>2</sup> e  $\alpha_n$  é o coeficiente de correção.

A Figura 17 apresenta os valores de  $\alpha_n$ .

Figura 17 – Valores de  $\alpha_n$ , conforme a Tabela 13 da NBR 7190:1997

**Tabela 13 - Valores de  $\alpha_n$**

Extensão da carga normal às fibras, medida paralelamente a estas cm	$\alpha_n$
1	2,00
2	1,70
3	1,55
4	1,40
5	1,30
7,5	1,15
10	1,10
15	1,00

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

A Norma indica que o coeficiente  $\alpha_n$  indicado na tabela acima é igual a 1 no caso de ser a extensão da carga, medida na direção das fibras, maior ou igual a 15 cm; quando esta extensão for menor que 15 cm, e a carga estiver afastada pelo menos de 7,5 cm da extremidade da peça. Essa tabela aplica-se também no caso de arruelas, tomando-se como extensão de carga seu diâmetro ou lado.

Quando a carga atuar na extremidade da peça ou de modo distribuído na totalidade da superfície de peças de apoio, admite-se  $\alpha_n = 1,0$ .

#### 2.6.4.2 Versão de 2022

Para tração axial, a condição de segurança é expressa por:

$$\sigma_{Nt,d} = \frac{N_{t,d}}{A} \leq f_{t0,d} \quad (Eq. 12)$$

Onde:

$\sigma_{Nt,d}$  é a tensão de tração de cálculo (kN/cm<sup>2</sup>);

$N_{t,d}$  é a força normal de tração de cálculo (kN);

$A$  é a área líquida da seção transversal (cm<sup>2</sup>);

$f_{t0,d}$  é o valor de cálculo da resistência à tração paralela às fibras (kN/cm<sup>2</sup>).

Para os casos de se utilizar os dados da Tabela 2 da Norma — Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos —, o valor de cálculo da resistência à tração paralela às fibras pode ser considerado igual ao valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras:

$$f_{t0,d} = f_{c0,d}$$

Para a tração perpendicular às fibras, considera-se um valor mínimo de resistência igual a 6 % do valor de tração paralela às fibras  $f_{t90,d} = 0,06 * f_{t0,d}$ .

Para as madeiras classificadas a partir de ensaios em peças estruturais, o valor característico da resistência à tração paralela às fibras deve ser obtido a partir da Tabela 3.

O texto também especifica que, para fibras com inclinação superior a 6°, deve-se aplicar uma redução na resistência conforme a equação de *Hankinson*

$$f_{\alpha} = \frac{f_0 * f_{90}}{f_0 \sin^2 \alpha + f_{90} \cos^2 \alpha} \quad (Eq. 13)$$

Para a madeira lamelada colada cruzada (CLT), a área da seção transversal deve ser calculada com base em orientações próprias.

No caso da compressão, expressa em kN/cm<sup>2</sup>, a verificação deve atender a seguinte condição:

$$\sigma_{Nc,d} = \frac{N_{c,d}}{A} \leq f_{c0,d} \quad (Eq. 14)$$

A redução por inclinação das fibras também se aplica para  $\alpha > 6^\circ$ . A compressão perpendicular às fibras é tratada da mesma forma que na versão anterior, com a equação  $\sigma_{c90,d} \leq f_{c90,d}$  e a expressão para  $f_{c90,d}$  sendo mantida como:

$$f_{c90,d} = 0,25 * f_{c0,d} * \alpha_n \quad (Eq. 15)$$

Onde  $\sigma_{c90,d}$  segue a mesma equação da versão anterior (Eq.10).

Os esforços resistentes correspondentes à compressão perpendicular às fibras são determinados com a hipótese de comportamento elastoplástico da madeira, devendo considerar a extensão (a') do carregamento, medida paralelamente à direção das fibras (Tabela 6 da Norma). Se a força estiver aplicada a menos de 7,5 cm da extremidade da peça ou  $a' \geq 15$  cm, admite-se  $\alpha_n = 1$ . Para casos que não estiverem na Tabela 6, deve-se fazer uma interpolação linear. A Tabela 6 é também aplicada no caso de arruelas, tomando-se como extensão do carregamento distribuído o seu diâmetro ou lado. Neste caso, não é necessário descontar-se o diâmetro do pino.

A Figura 18 apresenta os valores de  $\alpha_n$  conforme a Tabela 6 da Norma.

Figura 18 – Valores de  $\alpha_n$ , conforme a Tabela 6 da NBR 7190:2022

Tabela 6 – Valores de $\alpha_n$	
Extensão (a') do carregamento perpendicular às fibras, medida paralelamente a estas cm	Coefficiente $\alpha_n$
1	2,00
2	1,70
3	1,55
4	1,40
5	1,30
7,5	1,15
10	1,10
15	1,00

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

### 2.6.5 Flexão simples reta

#### 2.6.5.1 Versão de 1997

O vão teórico da peça é determinado pelo menor valor entre:

- a) Distância entre eixos dos apoios;
- b) Vão livre acrescido da altura da seção transversal no meio do vão (limitado a 10 cm).

O dimensionamento é realizado pela verificação das tensões de cálculo nas bordas mais comprimida e tracionada da seção:

$$\sigma_{c1,d} = \frac{M_d}{W_c} \text{ (Eq. 16)} ; \quad \sigma_{t2,d} = \frac{M_d}{W_t} \text{ (Eq. 17)}$$

Em que:

$$\sigma_{c1,d} \leq f_{cd} ; \quad \sigma_{t2,d} \leq f_{td}$$

Onde  $f_{cd}$  e  $f_{td}$  são as resistências à compressão e à tração.

Os módulos de resistência são dados por  $W = \frac{I}{y}$ , onde  $I$  é o momento de inércia ( $\text{cm}^4$ ) e  $y$  a distância do eixo neutro à borda considerada (cm).

#### 2.6.5.2 Versão de 2022

A verificação é feita pela seguinte expressão de segurança:

$$\frac{\sigma_{M,d}}{f_{m,d}} = \frac{\frac{M_d}{W}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (Eq. 18)$$

Simplificando tem-se:

$$\sigma_{M,d} = \frac{M_d}{W} \leq f_{m,d} \quad (Eq. 19)$$

Em que:

$\sigma_{M,d}$  é a tensão atuante de cálculo (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{m,d}$  é a resistência de cálculo à flexão (kN/cm<sup>2</sup>) – no caso de uso da Tabela 2 considerar  $f_{m,d} = f_{c0,d}$ ;

$M_d$  é o valor de cálculo do momento fletor (kN.cm);

$W$  é o módulo de resistência à flexão (cm<sup>3</sup>).

A Norma destaca a necessidade de:

- Verificação adicional da instabilidade conforme item 6.5.5;
- Redução de resistência em casos de fibras inclinadas ( $\alpha > 6^\circ$ ), conforme 6.2.8;
- Cálculo diferenciado do  $W$  para madeira lamelada colada cruzada (item 6.7.4.10.2).

## 2.6.6 Flexão simples oblíqua

### 2.6.6.1 Versão de 1997

A Norma determina que a condição de segurança seja satisfeita pela mais rigorosa das duas expressões:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (Eq. 20) ; \quad k_M * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (Eq. 21)$$

Onde:

$\sigma_{Mx,d}$  e  $\sigma_{My,d}$  são as Tensões máximas de cálculo devido às componentes de flexão nos eixos principais da seção (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{wd}$  é a resistência de cálculo da madeira à tração ou compressão (kN/cm<sup>2</sup>) – conforme a borda analisada;

$k_M$  é o coeficiente de correção para considerar o efeito da interação entre os eixos.

Seção retangular:  $k_M = 0,5$

Outras seções:  $k_M = 1,0$

Para peças com fibras inclinadas com ângulo  $\alpha > 6^\circ$  ( $\arctg 0,10$ ), aplica-se uma redução da resistência  $f_{wd}$ , conforme a seção 7.2.8 da Norma.

#### 2.6.6.2 Versão de 2022

A segurança continua sendo garantida pela mais rigorosa das seguintes expressões:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \text{ (Eq. 22)} ; k_M * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \text{ (Eq. 23)}$$

Onde:

$\sigma_{Mx,d}$  e  $\sigma_{My,d}$  são as tensões máximas de cálculo devido à flexão nos eixos principais (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{m,d}$  é a resistência de cálculo à flexão, conforme item 6.3.4 (kN/cm<sup>2</sup>).

O coeficiente  $K_M$  foi atualizado nessa versão da Norma:

Seção retangular:  $k_M = 0,7$

Outras seções:  $k_M = 1,0$

Para peças com fibras inclinadas com ângulo  $\alpha > 6^\circ$ , aplica-se uma redução na resistência  $f_{b,d}$  conforme o item 6.2.8.

#### 2.6.7 Flexotração

##### 2.6.7.1 Versão de 1997

As expressões utilizadas na versão de 1997 são:

$$\frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + k_M * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \text{ (Eq. 24)} ; \frac{\sigma_{Nt,d}}{f_{t0,d}} + k_M * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{t0,d}} \leq 1 \text{ (Eq. 25)}$$



Nessas equações,  $\sigma_{Nt,d}$  representa a tensão de cálculo oriunda exclusivamente da força normal de tração, e  $f_{t0,d}$  é a resistência de cálculo à tração paralela às fibras. Ambas as resistências em kN/cm<sup>2</sup>. O coeficiente de correção  $k_M$  é aplicado conforme a geometria da seção. Para elementos com fibras inclinadas em relação ao eixo da peça com ângulos  $\alpha \geq 6^\circ$  (ou  $\arctg 0,10$ ), as resistências  $f_{t0,d}$  e  $f_{c0,d}$  devem ser substituídas por  $f_{t\alpha,d}$  e  $f_{c\alpha,d}$ , conforme os critérios estabelecidos nos itens 7.3.1 e 7.3.2.

#### 2.6.7.2 Versão de 2022

As expressões utilizadas na versão de 2022 são:

$$\frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (Eq. 26) ; \quad \frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + k_M * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (Eq. 27)$$

$\sigma_{Nt0,d}$  representa a tensão normal devido apenas à força de tração. A resistência utilizada nas tensões oriundas dos momentos fletores passa a ser  $f_{m,d}$  (resistência de cálculo à flexão) em vez de  $f_{t0,d}$  como na versão anterior. A resistência à tração paralela às fibras continua sendo representada por  $f_{t0,d}$ . Todas as resistências expressas em kN/cm<sup>2</sup>.

Para peças com fibras inclinadas em ângulos  $\alpha > 6^\circ$ , é exigida a aplicação de reduções tanto na resistência à tração ( $f_{t0,d}$ ) quanto na resistência à flexão ( $f_{m,d}$ ), conforme o item 6.2.8.

#### 2.6.8 Flexocompressão

##### 2.6.8.1 Versão de 1997

A NBR 7190:1997 estabelece que, além da verificação de estabilidade (item 7.5), a condição de segurança relativa à resistência das seções transversais submetidas à flexocompressão deve atender à mais rigorosa das seguintes expressões, aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais comprimida:

$$\left( \frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + k_M * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1 ; \quad \left( \frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_M * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{c0,d}} \leq 1$$

(Eq. 28) (Eq. 29)

Nessas expressões:

$\sigma_{Nc,d}$  é a tensão normal devido apenas à força normal de compressão (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{c0,d}$  é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras (kN/cm<sup>2</sup>);

$\sigma_{Mx,d}$  e  $\sigma_{My,d}$  são as tensões normais devidas aos momentos fletores em relação aos eixos principais (kN/cm<sup>2</sup>);

$k_M$  é um coeficiente que pondera a influência dos momentos fletores.

Para peças com fibras inclinadas ( $\alpha = 6^\circ$ ), devem ser utilizados os valores reduzidos  $f_{c\alpha,d}$  e  $f_{t\alpha,d}$ , conforme indicado nos itens 7.3.2 e 7.3.1, respectivamente.

#### 2.6.8.2 Versão de 2022

A versão de 2022 da NBR 7190 também exige a verificação de estabilidade (item 6.5.5) e define a condição de segurança para flexocompressão por meio das seguintes equações, aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais comprimida:

$$\left( \frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad ; \quad \left( \frac{\sigma_{Nc,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_M * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

*(Eq. 30)* *(Eq. 31)*

Nessas expressões:

$\sigma_{Nc,d}$  é a tensão de cálculo devida à força normal de compressão (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{c0,d}$  é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{m,d}$  é a resistência de cálculo à flexão (kN/cm<sup>2</sup>);

$\sigma_{Mx,d}$  e  $\sigma_{My,d}$  são as tensões devidas aos momentos fletores nos eixos principais (kN/cm<sup>2</sup>);

$k_M$  é o coeficiente de ponderação para flexão combinada.

Para peças com fibras inclinadas ( $\alpha > 6^\circ$ ), aplicam-se reduções específicas em  $f_{c0,d}$  e  $f_{m,d}$  conforme o item 6.2.8 da Norma.

## 2.6.9 Cisalhamento

### 2.6.9.1 Versão de 1997

A versão de 1997 descreve o cálculo do cisalhamento longitudinal em vigas sob flexão com força cortante. A fórmula apresentada para determinar a máxima tensão de cisalhamento ( $\tau_d$ ) é:

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_d}{b * h} \quad (Eq. 32)$$

Onde:

$\tau_d$  é a tensão de cisalhamento máxima na seção (kN/cm<sup>2</sup>);

$V_d$  é a força cortante de cálculo (kN);

$b$  é a largura da viga (cm);

$h$  é a altura da viga (cm).

Este modelo é baseado em uma abordagem simples, considerando uma viga de seção retangular. Além disso, na falta de determinação experimental, a Norma especifica valores para a resistência ao cisalhamento de acordo com o tipo de madeira:  $0,12 * f_{c0,d}$  para coníferas e  $0,10 * f_{c0,d}$  para dicotiledôneas, sendo  $f_{c0,d}$  a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras.

A versão de 1997 determina que em vigas submetidas a cargas concentradas próximas aos apoios, a força cortante deve ser reduzida, utilizando a fórmula:

$$V_{red} = \frac{V * a}{2 * h}$$

Onde  $a$  é a distância da carga concentrada ao apoio, e  $h$  é a altura da viga. Esse critério busca considerar os efeitos das tensões de compressão nas proximidades do apoio, refletindo uma redução na cortante efetiva a ser considerada no cálculo.

Quando há variações bruscas de seção devido a entalhes, a Norma de 1997 recomenda o cálculo da tensão de cisalhamento na seção mais fraca com um fator de amplificação  $h/h_1$ , onde  $h_1$  é a altura da seção entalhada. A fórmula aplicada é:

$$\tau_d = \frac{3}{2} * \frac{V_d}{b * h_1} * \left( \frac{h}{h_1} \right) \quad (Eq. 33)$$

Além disso, a Norma estabelece restrições geométricas, como a recomendação de que  $h_1$  deve ser maior que 0,75 de  $h$ . Caso contrário, são sugeridas soluções alternativas, como o uso de parafusos verticais ou variações de seção com mísulas, com a exigência de que  $h_1 / h \geq 0,5$ .

#### 2.6.9.2 Versão de 2022

O cálculo da tensão de cisalhamento nas ligações é dado pela seguinte expressão:

$$\tau_d = \frac{V_d}{A} \leq f_{v0,d} \quad (Eq. 34)$$

Onde:

$\tau_d$  é a tensão de cisalhamento na área de ligação  $A$  (kN/cm<sup>2</sup>);

$V_d$  é a força cortante de cálculo (kN);

$A$  é a área da ligação (cm<sup>2</sup>).

$f_{v0,d}$  é a resistência de cálculo ao cisalhamento da seção (kN/cm<sup>2</sup>).

Isso reflete a crescente importância das conexões e ligações entre elementos estruturais, especialmente no contexto das tecnologias modernas de madeira e conexões metálicas.

A abordagem para o cálculo do cisalhamento longitudinal em vigas na versão de 2022 se mantém:

$$\tau_d = \frac{V_d * S}{b * I} \leq f_{v0,d} \quad (Eq. 35)$$

Em que:

$\tau_d$  é a máxima tensão de cisalhamento atuando no ponto mais solicitado da peça (kN/cm<sup>2</sup>);

$V_d$  é a força cortante na seção em estudo (kN);

$S$  é o momento estático da seção para o ponto onde se quer calcular a tensão (cm);

b é a largura ou somatória das larguras no ponto da seção em estudo (cm);

I é o momento de inércia da seção transversal (cm<sup>4</sup>).

Essa fórmula pode ser reduzida para seções retangulares, levando à equação:

$$\tau_d = 1,5 * \frac{V_d}{b * h} \quad (Eq. 36)$$

A equação para calcular a força cortante reduzida é:

$$V_{red} = V * \frac{z}{2h} \quad (Eq. 37)$$

Onde:

z é a distância a partir do ponto teórico do apoio;

(z / 2h) é o fator redutor que anula a cortante no ponto z=0, mas retoma os valores normais de V para z ≥ 2h.

Nas vigas entalhadas de seção retangular, a nova versão da Norma mantém a equação da anterior. A versão de 2022 também mantém as mesmas restrições geométricas para a seção entalhada: h<sub>1</sub> > 0,75h. Caso contrário, são recomendadas soluções alternativas, como parafusos verticais ou mísulas, com o limite de h<sub>1</sub> / h ≥ 0,5.

## 2.6.10 Torção

### 2.6.10.1 Versão de 1997

A versão de 1997 recomenda evitar a torção de equilíbrio em peças de madeira, em virtude do risco de ruptura por tração normal às fibras decorrente do estado múltiplo de tensões atuante.

Ainda nesta seção, a Norma traz orientações quando o equilíbrio do sistema estrutural depender dos esforços de torção (torção de equilíbrio). Para isso, deve-se respeitar a condição

$$\tau_{T,d} \leq f_{v0,d}$$

Calculando-se  $\tau_{Td}$  pelas expressões da Teoria da Elasticidade, sob ações das solicitações de cálculo T<sub>d</sub> determinadas de acordo com as regras de combinação expressas em 5.7.

### *2.6.10.2 Versão de 2022*

Na versão de 2022 o texto sobre Torção se mantém o mesmo, com as mesmas orientações da versão anterior.

### *2.6.11 Estabilidade*

#### *2.6.11.1 Versão de 1997*

A versão de 1997 da NBR 7190 classificava as peças comprimidas com base em seu índice de esbeltez ( $\lambda$ ), definindo três categorias principais: peças curtas, peças medianamente esbeltas e peças esbeltas. Para cada categoria, a Norma estabelecia critérios específicos de dimensionamento e verificação.

O índice de esbeltez era a base para a classificação das peças e era calculado por:

$$\lambda = \frac{L_0}{i_{\min}} \quad (Eq. 38)$$

Onde:

$\lambda$  é o índice de esbeltez;

$L_0$  é o comprimento teórico de referência, que dependia das condições de vinculação da peça (cm);

$i_{\min}$  é o raio de giração mínimo da seção transversal da peça (cm).

No caso de peças engastadas em uma extremidade e livres na outra,  $L_0 = 2L$  e peças com ambas as extremidades indeslocáveis por flexão,  $L_0 = L$ .

A versão de 1997 considerava as imperfeições geométricas e as excentricidades inevitáveis dos carregamentos. A Norma de 1997 introduzia uma excentricidade acidental mínima:

$$e_a = \frac{L_0}{300} \quad (Eq. 39)$$

Onde:

$e_a$  é a excentricidade acidental mínima (cm);

$L_0$  é o comprimento teórico de referência (cm).

No caso da classificação, as peças curtas eram definidas com índice de esbeltez  $\lambda \leq 40$ . Os critérios eram:

- Para peças solicitadas apenas à compressão simples, a consideração de efeitos de flexão era dispensada.
- Para flexocompressão, as condições de segurança eram as especificadas em 7.3.6, com os momentos fletores determinados na situação de projeto.

As peças medianamente esbeltas eram classificadas com índice de esbeltez  $40 < \lambda \leq 80$ .

Além das condições de segurança para flexocompressão (7.3.6), era necessário verificar a segurança em relação ao estado limite último de instabilidade. A condição de segurança era dada por:

$$\frac{\sigma_{Nd}}{f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Md}}{f_{c0,d}} \leq 1 \quad (Eq. 40)$$

Onde:

$\sigma_{Nd}$  é o valor de cálculo da tensão de compressão devido à força normal de compressão (kN/cm<sup>2</sup>);

$\sigma_{Md}$  é o valor de cálculo da tensão de compressão devido ao momento fletor  $M_d$  (kN.cm), calculado como  $M_d = N_d * e_d$ .

$f_{c0,d}$  é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras (kN/cm<sup>2</sup>);

$e_d$  é a excentricidade total (excentricidade inicial  $e_i$  + excentricidade acidental  $e_a$ ) em cm.

A excentricidade inicial ( $e_i$ ) não deveria ser inferior a  $h/30$ . A carga crítica de Euler ( $F_E$ ) era expressa por:

$$F_E = \frac{\pi * E_{c0,ef} * I}{L_0^2} \quad (Eq. 41)$$

Onde:

$F_E$  é a carga crítica de Euler (kN);

$E_{c0,ef}$  é o módulo de elasticidade efetivo da madeira (kN/cm<sup>2</sup>);

$I$  é o momento de inércia da seção transversal da peça (cm<sup>4</sup>);

$L_0$  é o comprimento teórico de referência (cm).

Para o caso de esbeltas, estas são classificadas quando o índice de esbeltez  $\lambda > 80$ , com limite máximo de 140.

A verificação era similar à das peças medianamente esbeltas, utilizando a mesma expressão de interação de tensões. No entanto, considerava-se excentricidades adicionais, como a excentricidade de primeira ordem ( $e_i$ ), a excentricidade acidental mínima ( $e_a$ ) e uma excentricidade suplementar ( $e_c$ ) que representava a fluência da madeira.

As excentricidades adicionais (em cm) são dadas pela soma de todas as excentricidades efetivas:

$$e_{1,ef} = e_1 + e_c = e_i + e_a + e_c \quad (Eq. 42)$$

Onde  $e_i$  é a excentricidade de primeira ordem decorrente da situação de projeto,  $e_a$  é a excentricidade acidental mínima e  $e_c$  é uma excentricidade suplementar de primeira ordem que representa a fluência da madeira.

As expressões que determinam as excentricidades listadas acima são:

$$e_i = \frac{M_{1d}}{N_d} = \frac{M_{1g,d} + M_{1q,d}}{N_d} \quad (Eq. 43)$$

Onde:

$M_{1g,d}$  e  $M_{1q,d}$  são os valores de cálculo, na situação de projeto, dos momentos devidos às cargas permanentes e as cargas variáveis, respectivamente (kN.cm);

$e_a$  = excentricidade acidental mínima, dada em 7.5.2 na Norma, não se tomando valor menor que  $h/30$  (cm).

$N_d$  é a força de cálculo (kN).

O valor de  $e_c$  é determinado pela seguinte expressão:



$$e_c = (e_{ig} + e_a) * \left\{ \exp \left[ \frac{\phi * [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) * N_{qk}]}{F_E - [N_{gk} + (\psi_1 + \psi_2) * N_{qk}]} \right] - 1 \right\}, \text{ com } \psi_1 + \psi_2 \leq 1$$

(Eq.44)

Onde:

$\phi$  é o coeficiente de fluência da madeira;

$N_{gk}$  e  $N_{qk}$ , em kN, são os valores característicos da força normal devidos, respectivamente, às cargas permanentes e variáveis, sendo os coeficientes  $\psi_1$  e  $\psi_2$  apresentados na Tabela 4 da Norma.

$F_E$  é a carga crítica de Euler (kN).

$$e_{ig} = \frac{M_{1g,d}}{N_d} \quad (Eq. 45)$$

Onde:

$M_{1g,d}$  é o valor de cálculo do momento fletor devido apenas às ações permanentes (kN.cm);

$N_d$  é a força de cálculo (kN).

A Norma de 1997 exigia a verificação da estabilidade lateral de vigas fletidas, a menos que certas condições fossem satisfeitas, como o impedimento de rotação nas extremidades e a presença de travamentos laterais. O texto ressalta que as vigas submetidas a essa condição devem ter sua estabilidade lateral verificada por teoria cuja validade tenha sido comprovada experimentalmente. É dispensado essa verificação se a seguinte condição for satisfeita:

$$\frac{L_1}{b} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M * f_{c0,d}} \quad (Eq. 46)$$

Onde:

$L_1$  representa a distância entre pontos de contenção da viga (cm);

$b$  representa a largura da seção transversal da viga (cm);

$E_{c0,ef}$  representa o módulo de elasticidade efetivo da madeira (MPa);

$f_{c0,d}$  é o valor da resistência de cálculo à compressão paralela às fibras (MPa).

O coeficiente  $\beta_M$  é calculado pela seguinte expressão:

$$\beta_M = \frac{1}{0,26 * \pi} * \frac{\beta_E}{\gamma_f} * \frac{\left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{\left(\frac{h}{b} - 0,63\right)^{1/2}} \quad (Eq. 47)$$

Onde o coeficiente é dado na Tabela 16 da Norma, para  $\gamma_f = 1,4$  e para o coeficiente de correção  $\beta_E = 4$ .

A Norma permite dispensar a verificação de estabilidade caso a condição estipulada não for satisfeita. A equação é a determinada como:

$$\sigma_{c1,d} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) * \beta_M} \quad (Eq. 48)$$

Onde  $\sigma_{c1,d}$  representa a tensão atuante na referida borda analisada (kN/cm<sup>2</sup>).

A Figura 19 apresenta os valores dos coeficientes de correção  $\beta_M$  conforme a Tabela 16 da Norma.

Figura 19 – Valores dos coeficientes de correção  $\beta_M$ , conforme a Tabela 16 da NBR 7190:1997

Tabela 16 - Coeficiente de correção  $\beta_M$

$\frac{h}{b}$	$\beta_M$
1	6,0
2	8,8
3	12,3
4	15,9
5	19,5
6	23,1
7	26,7
8	30,3
9	34,0
10	37,6
11	41,2
12	44,8
13	48,5
14	52,1
15	55,8
16	59,4
17	63,0
18	66,7
19	70,3
20	74,0

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

### 2.6.11.2 Versão de 2022

O cálculo do comprimento de flambagem ( $L_0$ ) é determinado considerando às condições de vinculação das extremidades das barras, através de um coeficiente de comprimento de flambagem ( $K_E$ ):

$$L_0 = K_E * L \text{ (Eq. 49)}$$

Onde:

$L_0$  é o comprimento de flambagem (cm);

$K_E$  é o coeficiente de comprimento de flambagem, cujos valores são apresentados na Tabela 7 da Norma;

$L$  é o comprimento efetivo da peça (cm);

O índice de esbeltez é definido pela seguinte equação:

$$\lambda = \frac{L_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \text{ (Eq. 50)}$$

Onde:












$L_0$  é o comprimento de flambagem (cm);

$I$  é o momento de inércia na direção analisada (cm<sup>4</sup>)

$A$  é a área da seção transversal (cm<sup>2</sup>).

A Figura 20 mostra os valores dos coeficientes  $K_E$  conforme a Tabela 7 da Norma.

Figura 20 – Valores dos coeficientes  $K_E$ , conforme a Tabela 7 da NBR 7190:2022

Tabela 7 – Valores dos coeficientes $K_E$						
Modos de flambagem						
Valores de projeto para $K_E$	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,40
Código das condições de extremidade		Rotação e translação lateral impedidas, translação vertical livre				
		Rotação e translação vertical livres, translação lateral impedida				
		Rotação livre e translações impedidas				
		Rotação impedida e translações livres				
		Rotação e translações livres				

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

Os índices de esbeltez relativa são definidos por:

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad (Eq. 51) ; \quad \lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad (Eq. 52)$$

Onde:

$\lambda_{rel,x}$  e  $\lambda_{rel,y}$  são os índices de esbeltez relativa correspondentes à flexão em relação a x e y, respectivamente;

$\lambda_x$  e  $\lambda_y$  representam os índices de esbeltez segundo os eixos x e y;

$f_{c0,k}$  é a resistência característica à compressão paralela as fibras (MPa);

$E_{0,05}$  é o valor característico do módulo de elasticidade medido na direção paralela às fibras da madeira (MPa).

No caso de índice de esbeltez relativa superior a 0,3, em qualquer direção, além das condições estabelecidas em 6.3.7 da Norma, devem ser atendidas as condições de estabilidade dadas pelas inequações:

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{K_{cx} * f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M * \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 ; \quad \frac{\sigma_{Nc,d}}{K_{cy} * f_{c0,d}} + k_M * \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

(Eq.53)

(Eq.54)

Onde:

$\sigma_M$ , expressa em kN/cm<sup>2</sup>, é a tensão normal de flexão proveniente do momento fletor de primeira ordem devida às forças laterais, excentricidades na aplicação das forças axiais, curvatura inicial da barra, deformações induzidas ou quaisquer outras situações em que há momentos fletores de primeira ordem atuando na barra nas duas direções principais;

$k_M$  é o coeficiente conforme 6.3.5.

Os coeficientes  $K_{cx}$  e  $K_{cy}$  são calculados conforme a seguir:

$$k_{cx} = \frac{1}{k_x + \sqrt{(k_x)^2 - (\lambda_{rel,x})^2}} \quad (Eq. 55) ; \quad k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y)^2 - (\lambda_{rel,y})^2}} \quad (Eq. 56)$$

Para o cálculo dos coeficientes  $k_x$  e  $k_y$  as equações são:

$$k_x = 0,5 * \left[ 1 + \beta_c * (\lambda_{rel,x} - 0,3) + (\lambda_{rel,x})^2 \right] \quad (Eq. 57)$$

$$k_y = 0,5 * \left[ 1 + \beta_c * (\lambda_{rel,y} - 0,3) + (\lambda_{rel,y})^2 \right] \quad (Eq. 58)$$

No caso das equações acima,  $\beta_c$  é definido como um fator utilizado para peças estruturais que atendam aos limites de divergência de alinhamento, conforme a seguir:

a) para madeira maciça serrada e peças roliças:  $\beta_c = 0,2$ ;

b) para madeira lamelada (MLC e MLCC) e madeira laminada (LVL):  $\beta_c = 0,1$ .

Nessa versão da Norma, é levada em consideração o valor de cálculo da resistência à flexão ( $f_{m,d}$ ) na equação que determina se é permitido dispensar a verificação de estabilidade lateral de vigas.

Com isso a equação foi ajustada para:

$$\frac{L_1}{b} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M * f_{m,d}} \quad (Eq. 59)$$

A equação do  $\beta_M$  também foi alterada.

$$\beta_M = \frac{4}{\pi} * \frac{\beta_E}{y_f} * \frac{\left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{\left(\frac{h}{b} - 0,63\right)^{1/2}} \quad (Eq. 60)$$

Os coeficientes  $\beta_E$  e  $\gamma_f$  permaneceram os mesmos, com os respectivos valores de: 4 e 1,4.

A Tabela 8 da Norma apresenta os valores dos coeficientes  $\beta_M$ .

A Norma permite dispensar a verificação de estabilidade caso a condição estipulada não for satisfeita. A condição é igual a versão de 1997:

$$\sigma_{c,d} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right)^* \beta_M} \quad (Eq. 61)$$

Onde  $\sigma_{c,d}$  representa a tensão atuante na referida borda analisada (kN/cm<sup>2</sup>).

A Figura 21 mostra os coeficientes de correção  $\beta_M$  conforme a Tabela 8 da Norma.

Figura 21 – Valores dos coeficientes de correção  $\beta_M$  para  $\gamma_f = 1,4$  e  $\beta_E = 4$ , conforme a Tabela 8 da NBR 7190:2022

Tabela 8 – Coeficiente de correção $\beta_M$ para $\gamma_f = 1,4$ e $\beta_E = 4$																				
h/b	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\beta_M$	6	8,8	12,3	15,9	19,5	23,1	26,7	30,3	34	37,6	41,2	44,8	48,5	52,1	55,8	59,4	63	66,7	70,3	74

Fonte: Autor.

## 2.6.12 Resistência de embutimento

### 2.6.12.1 Versão de 1997

Na versão de 1997 da NBR 7190, a resistência de embutimento é abordada no item 8.2, no contexto das ligações estruturais em madeira. A Norma estabelece que a resistência de embutimento da madeira deve ser determinada por meio de ensaio experimental padronizado, conforme o Anexo B da própria Norma.

Na ausência de ensaio, são permitidas relações aproximadas descritas no item 7.2.7, expressas pelas seguintes equações:

$$f_{e0,d} = f_{c0,d} \quad (Eq.62);$$

$$f_{e90,d} = 0,25 * f_{c0,d} * \alpha_e \quad (Eq.63), \text{ onde o coeficiente } \alpha_e \text{ é dado pela Tabela 14.}$$

A Figura 22 mostra os valores de  $\alpha_e$ , apresentados na Tabela 14 da Norma.

Figura 22 – Valores do coeficiente  $\alpha_e$ , conforme a Tabela 14 da NBR 7190:1997

**Tabela 14 - Valores de  $\alpha_e$**

Diâmetro do pino cm	$\leq 0,62$	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2
Coeficiente $\alpha_e$	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33
Diâmetro do pino cm	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	$\geq 7,5$
Coeficiente $\alpha_e$	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1,0

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.

### 2.6.12.2 Versão de 2022

Caso não haja ensaio experimental, a Norma permite o uso de expressões empíricas, válidas exclusivamente para:

- Ligações com pinos metálicos (pregos e parafusos até 30 mm);
- Peças de madeira serrada e LVL (laminated veneer lumber);
- Conexões entre peças de madeira ou madeira e chapa metálica.

Não se aplica às ligações entre madeira e painéis industrializados como compensado ou OSB.

A Norma considera o uso da densidade característica da madeira, determinada por:

$$\rho_k = \frac{\rho_{med}}{1,2} \quad (Eq. 64)$$

Em que:

$\rho_k$  é a densidade característica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ );

$\rho_{med}$  é a densidade média entre as madeiras utilizadas ( $\text{kg/m}^3$ ).

Para pregos com diâmetro menor que 8 mm, deve-se aplicar as seguintes equações para cálculo do valor característico da resistência ao embutimento, em elementos de madeira serrada e LVL sem e com pré-furação, respectivamente:

$$f_{e,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} \text{ (em N/mm}^2\text{)} \text{ (Eq. 65)}$$

$$f_{e,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k \text{ (em N/mm}^2\text{)} \text{ (Eq. 66)}$$

Para pregos com diâmetro maior que 8 mm e parafusos de até 30 mm de diâmetro, dispostos com ângulo  $\alpha$  em relação às fibras, deve-se aplicar os valores característicos para o cálculo da resistência ao embutimento:

$$f_{e\alpha,k} = \frac{f_{e0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \text{ (Eq. 67)}$$

$$f_{e0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k \text{ (em N/mm}^2\text{)} \text{ (Eq. 68)}$$

No qual  $k_{90}$  segue as seguintes relações:

- $1,35 + 0,015 * d$  (Para madeiras de coníferas);
- $1,30 + 0,015 * d$  (Para painéis de LVL);
- $0,90 + 0,015 * d$  (Para madeiras de folhosas).

### 2.6.13 Coeficientes de fluência

#### 2.6.13.1 Versão de 1997

O coeficiente de fluência  $\phi$  é dado pela Tabela 15 da Norma. A Figura 23 mostra os valores apresentados pela Tabela 15 da Norma.

Figura 23 – Valores dos coeficientes de fluência ( $\phi$ ), conforme a Tabela 15 da NBR 7190:1997

Tabela 15 - Coeficiente de fluência $\phi$		
Classes de carregamento	Classes de umidade	
	(1) e (2)	(3) e (4)
Permanente ou de longa duração	0,8	2,0
Média duração	0,3	1,0
Curta duração	0,1	0,5

Fonte: ABNT NBR 7190:1997



### 2.6.13.2 Versão de 2022

O coeficiente de fluência é dado pela Tabela 20 da Norma. A Figura 24 mostra os valores apresentados pela Tabela 20 da Norma.

Figura 24 – Valores dos coeficientes de fluência ( $\phi$ ), conforme a Tabela 20 da NBR 7190:2022

Material	Classes de umidade		
	(1)	(2 e 3)	(4)
Madeira serrada, MLC, MLCC, LVL e roliça	0,6	0,8	2,0 <sup>a</sup>
Compensado estrutural	0,8	1,0	2,5
OSB estrutural	1,5	2,25	-
<sup>a</sup> Não é permitido o uso de MLCC para a classe de umidade 4.			

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

### 2.6.14 Estados-limite de serviço (ELS)

#### 2.6.14.1 Versão de 1997

Na versão de 1997 da NBR 7190, o estado limite de serviço é tratado sob o título “estados limites de deformações”, sendo verificado por meio da desigualdade

$$S_{d,uti} \leq S_{lim}$$

em que:

$S_{lim}$  é o valor limite fixado para o efeito estrutural que determina o aparecimento do estado limite considerado;

$S_{d,uti}$  são os valores desses mesmos efeitos, decorrentes da aplicação das ações estabelecidas para a verificação, calculados com a hipótese de comportamento elástico linear da estrutura.

A Norma recomenda a consideração das combinações de ações de longa duração para essa verificação, conforme definido em seu item 9.1.3. Em construções correntes, os limites de deformação visam garantir o funcionamento normal da estrutura e seu aspecto estético. O valor da flecha é calculado utilizando o módulo

efetivo  $E_{c0,ef}$ . O valor da flecha efetiva, obtida pela soma da flecha devido à carga permanente ( $u_G$ ) e à carga accidental ( $u_Q$ ), não deve ultrapassar 1/200 do vão, ou 1/100 do comprimento dos balanços. É permitido o uso de contraflechas para compensar parcialmente as flechas causadas pelas ações permanentes, desde que a compensação não exceda 2/3 de  $u_G$ . Em situações de flexão oblíqua, a verificação desses limites pode ser feita separadamente em cada plano principal de flexão.

Para construções que utilizam materiais frágeis não estruturais, como forros, divisórias e pisos, a Norma de 1997 estabelece limites mais restritivos, com o objetivo de evitar fissuras ou danos causados por deformações excessivas. Nesses casos, as flechas totais (considerando o efeito da fluência) não devem ultrapassar 1/350 do vão, nem 1/175 do comprimento dos balanços. Além disso, as flechas causadas apenas por ações variáveis não devem exceder 1/300 do vão, 1/150 dos balanços, nem o valor absoluto de 15 mm. Em construções especiais, como escoramentos, formas e torres, os limites de deformação devem ser definidos conforme normas específicas ou estipulados pelo proprietário da estrutura.

#### *2.6.14.2 Versão de 2022*

Nesta edição da Norma, a verificação continua sendo feita pela desigualdade  $S_{d,serv} \leq S_{lim}$ , porém com base na combinação rara de serviço, conforme definido pela ABNT NBR 8681. A Norma apresenta explicitamente os efeitos da fluência da madeira, indicando que os deslocamentos devem ser calculados utilizando o módulo de elasticidade médio  $E_{c0,m}$ , além do módulo de elasticidade transversal  $G_m$  para considerar os efeitos de cisalhamento em elementos em flexão. Para estruturas com ligações metálicas, como treliças e pórticos, devem ser incluídas também as deformações das ligações, por meio da rigidez das conexões  $K_{ser}$ .

Os deslocamentos devidos às ações permanentes podem ser parcialmente compensados com contraflechas, desde que não excedam 2/3 do deslocamento instantâneo causado pelas ações permanentes. Em construções que envolvem materiais frágeis ligados à estrutura, a Norma de 2022 determina que, além dos limites gerais de deslocamentos apresentados em tabela (Tabela 20 da Norma), as flechas instantâneas causadas apenas por ações variáveis não devem ultrapassar 1/500 do

vão ou 1/250 do comprimento do balanço correspondente, nem o valor absoluto de 15 mm. Assim como na versão anterior, nos casos de flexão oblíqua, os limites de flecha podem ser verificados separadamente para cada plano principal de flexão. Para construções especiais, como formas e escoramentos, os valores limites de deslocamento devem ser definidos por acordo entre as partes envolvidas, conforme orientação da Norma ABNT NBR 15696.

A Figura 25 apresenta os valores-limite de deslocamentos estabelecidos pela versão de 2022 para elementos correntes fletidos.

Figura 25 – Limites de deslocamento para elementos correntes fletidos, segundo a Tabela 21 da NBR 7190:2022

<b>Tabela 21 – Valores-limite de deslocamentos para elementos correntes fletidos</b>			
<b>Tipo de viga</b>	$\delta_{inst}$	$\delta_{fin}$	$\delta_{net,fin}$
Vigas biapoiadas ou contínuas	L/300 a L/500	L/150 a L/300	L/250 a L/350
Vigas em balanço	L/150 a L/250	L/75 a L/150	L/125 a L/175

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

### 2.6.15 Estabilidade global – contraventamento

#### 2.6.15.1 Versão de 1997

A Norma de 1997 estabelece que sistemas estruturais formados por elementos dispostos paralelamente devem ser estabilizados por contraventamentos perpendiculares para evitar deslocamentos transversais e garantir a estabilidade global. O dimensionamento desses contraventamentos deve considerar imperfeições geométricas, excentricidades de carregamento e efeitos de segunda ordem. Na ausência de uma análise mais precisa, admite-se uma força convencional  $F_{1d} = N_d/150$  aplicada em cada nó do contraventamento.

Para peças comprimidas, exige-se verificação da rigidez dos elementos de apoio transversal para evitar instabilidade lateral. Essa rigidez mínima é definida por fórmula específica com base em parâmetros geométricos e mecânicos da peça principal. Caso os contraventamentos trabalhem à compressão, sua estabilidade

também deve ser verificada, a menos que estejam fixados de forma a trabalharem somente à tração.

No caso de peças fletidas, aplica-se o mesmo conceito ao banzo comprimido, sendo essencial restringir a rotação nas extremidades das vigas. Para sistemas com múltiplos elementos estruturais paralelos (como em coberturas), define-se um arranjo padrão de contraventamento usando treliças verticais e horizontais, com espaçamento máximo de 20 m. Esses contraventamentos devem resistir a esforços determinados com base nas forças convencionais  $F_{1d}$ , e sua rigidez deve ser suficiente para limitar deslocamentos excessivos.

#### *2.6.15.2 Versão de 2022*

A versão de 2022 mantém a mesma base conceitual da Norma anterior, exigindo contraventamentos dispostos ortogonalmente aos elementos principais para garantir a estabilidade global e limitar deslocamentos laterais. Também se consideram imperfeições geométricas, excentricidades de carregamento e efeitos de segunda ordem. Quando não for possível avaliá-los diretamente, admite-se a consideração de uma força convencional  $F_{1d} = N_d/150$  por nó.

Para peças comprimidas, a Norma mantém o mesmo critério para valor mínimo de  $K_{br,1}$  nos apoios transversais, especificada em tabela. Contraventamentos solicitados à compressão também devem ter sua estabilidade verificada, salvo se estiverem fixados para trabalhar apenas à tração. As emendas e fixações devem suportar as forças  $F_{1d}$ .

No caso do banzo comprimido de treliças ou vigas, as mesmas hipóteses da seção anterior são mantidas. Nas vigas, a rotação nas extremidades deve ser impedida. Para sistemas com vários elementos paralelos, como em coberturas, a Norma sugere um arranjo padronizado de treliças verticais e horizontais com espaçamento máximo de 20 m. Cada nó do banzo comprimido deve receber uma força  $F_{1d}$ , e as estruturas de contraventamento devem suportar, no mínimo, 2/3 da soma dessas forças. A rigidez mínima da estrutura deve ser verificada conforme equação fornecida pela Norma.

## 2.6.16 Ligações

### 2.6.16.1 Versão de 1997

A Norma brasileira de 1997 estabelece que as ligações mecânicas das peças de madeira podem ser realizadas por meio de três elementos principais: pinos metálicos, cavilhas e conectores. Os pinos metálicos são constituídos por pregos ou parafusos, enquanto as cavilhas são pinos de madeira torneados. Já os conectores podem ser formados por anéis metálicos ou chapas metálicas com dentes estampados.

Um aspecto fundamental estabelecido pela Norma é que, no cálculo das ligações, não é permitido considerar o atrito das superfícies em contato, nem esforços transmitidos por elementos secundários como estribos, braçadeiras ou grampos. A Norma também enfatiza a importância de respeitar os espaçamentos e a pré-furação especificados para evitar o fendilhamento da madeira devido à presença dos elementos de união.

Para evitar a ruptura por tração normal às fibras em regiões de ligações localizadas, a Norma estabelece uma verificação específica através da equação:

$$V \leq \frac{2 * f_{vd} * b_e * t}{3} \quad (Eq. 69)$$

Em que:

$V_d$  é a força cortante fictícia determinada por  $V_1 + V_2 = F \sin \alpha$ ;

$b_e$  é a distância do eixo do pino mais afastado à borda do lado da solicitação, com  $b_e \geq h/2$ ;

$t$  é a espessura da peça principal;

$f_{vd}$  é a resistência de cálculo ao cisalhamento paralelo às fibras;

$\alpha$  é o ângulo de inclinação da força  $F$  em relação às fibras;

$h$  é a altura total da seção transversal da peça principal.

O dimensionamento dos elementos de ligação deve obedecer a condições de segurança do tipo:

$$S_d \leq R_d$$

Onde  $R_d$  é o valor de cálculo da resistência dos elementos da ligação e  $S_d$  o valor de cálculo das solicitações nela atuantes. A Norma estabelece que o estado limite último da ligação pode ser atingido por deficiência de resistência da madeira da peça estrutural ou do elemento de ligação.

A Norma de 1997 classifica as ligações quanto à sua rigidez. As ligações com dois ou três pinos são consideradas deformáveis, permitindo-se seu emprego exclusivamente em estruturas isostáticas. No projeto, estas ligações são calculadas como se fossem rígidas, exigindo-se uma contraflecha compensatória de pelo menos  $L/100$ , onde  $L$  é o vão teórico da estrutura considerada.

Um ponto importante é que a Norma proíbe expressamente o uso de ligações com um único pino. As ligações com quatro ou mais pinos podem ser consideradas rígidas sob condições específicas. As ligações pregadas com quatro ou mais pregos são consideradas rígidas, desde que respeitados os diâmetros de pré-furação especificados. Já as ligações parafusadas com quatro ou mais parafusos são consideradas rígidas ou deformáveis, dependendo do diâmetro de pré-furação adotado.

Para uniões pregadas, a Norma exige a pré-furação da madeira, com diâmetro  $d_0$  não maior que o diâmetro efetivo ( $d_{ef}$ ) do prego, com os valores usuais:

Coníferas:  $d_0 = 0,85 * d_{ef}$

Dicotiledôneas:  $d_0 = 0,98 * d_{ef}$

Em estruturas provisórias, admite-se o emprego de ligações pregadas sem a pré-furação da madeira, desde que se empreguem madeiras moles de baixa densidade ( $\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg/m}^3$ ), que permitam a penetração dos pregos sem risco de fendilhamento, e pregos com diâmetro  $d$  não maior que  $1/6$  da espessura da madeira mais delgada e com espaçamento mínimo de  $10d$ .

Para que as ligações parafusadas sejam consideradas rígidas, a pré-furação deve ser feita com diâmetro  $d_0$  não maior que o diâmetro  $d$  do parafuso, acrescido de  $0,5 \text{ mm}$ . Caso sejam empregados diâmetros  $d_0$  maiores, a ligação deve ser considerada deformável.

A resistência total de um pino de ligação é dada pela soma das resistências correspondentes às suas diferentes seções de corte. Nas ligações com até oito pinos em linha, dispostos paralelamente ao esforço a ser transmitido, a resistência total é dada pela soma das resistências de cada um dos pinos.

Para ligações com mais de oito pinos, os pinos suplementares devem ser considerados com apenas 2/3 de sua resistência individual. Neste caso, sendo  $n$  o número efetivo de pinos, a ligação deve ser calculada com o número convencional:

$$n = 8 + \frac{2}{3} * (n - 8) \text{ (Eq. 70)}$$

A Norma estabelece que os pregos estruturais devem ser feitos de aço com resistência característica de escoamento  $f_{yk}$  de pelo menos 600 MPa, e devem ter diâmetro mínimo de 3 mm. Recomenda-se que os parafusos estruturais tenham diâmetros não menores que 10 mm e resistência característica de escoamento  $f_{yk}$  de pelo menos 240 MPa.

A resistência de um pino, correspondente a uma dada seção de corte entre duas peças de madeira, é determinada em função das resistências de embutimento  $f_{wed}$  das duas madeiras interligadas, da resistência de escoamento  $f_{yd}$  do pino metálico, do diâmetro  $d$  do pino e de uma espessura convencional  $t$ , tomada com a menor das espessuras  $t_1$  e  $t_2$  de penetração do pino em cada um dos elementos ligados.

Nas ligações parafusadas deve ser  $d \leq t/2$  e nas ligações pregadas deve ser  $d \leq t/5$ . Permite-se  $d \leq t/4$  nas ligações pregadas, desde que  $d_0 = d_{ef}$ .

Nas ligações pregadas, a penetração em qualquer uma das peças ligadas não deve ser menor que a espessura da peça mais delgada. Caso contrário, o prego será considerado não resistente. Em ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos  $12d$  ou igual à espessura dessa peça. Em ligações corridas, esta penetração pode ser limitada ao valor de  $t_1$ .

O valor de cálculo da resistência de um pino metálico correspondente a uma única seção de corte é determinado em função do valor do parâmetro:

$$\beta = \frac{t}{d} \text{ (Eq. 71)}$$

Onde  $t$  é a espessura convencional da madeira e  $d$  o diâmetro do pino, estabelecendo-se como valor limite:

$$\beta = 1,25 * \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \quad (\text{Eq. 72})$$

Sendo  $f_{yd}$  a resistência de cálculo ao escoamento do pino metálico, determinada a partir de  $f_{yk}$  com  $\gamma_s = 1,1$ , e  $f_{ed}$  a resistência de cálculo de embutimento.

O valor de cálculo  $R_{vd,1}$  da resistência de um pino, correspondente a uma única seção de corte, é dado pelas expressões seguintes:

I - Embutimento na madeira ( $\beta \leq \beta_{lim}$ ):

$$R_{vd,1} = 0,40 * \frac{t^2}{\beta} * f_{ed} \quad (\text{Eq. 73})$$

II - Flexão do pino ( $\beta > \beta_{lim}$ ):

$$R_{vd,1} = 0,625 * \frac{d^2}{\beta_{lim}} * f_{yd} \quad (\text{Eq. 74})$$

(com  $\beta = \beta_{lim}$ ), tomando-se:  $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ , sendo  $\gamma_s = 1,1$ .

A resistência de um pino, correspondente a uma dada seção de corte entre uma peça de madeira e uma peça de aço, é determinada pela menor das duas resistências, uma referente à ligação do pino com a madeira e a outra à ligação do pino com a parede da peça metálica.

A determinação da resistência referente à ligação do pino com a madeira é feita com os mesmos critérios estabelecidos para a ligação de duas peças de madeira. A determinação da resistência referente à ligação do pino com a peça de aço é feita de acordo com os critérios da NBR 8800.

No caso de pinos em corte duplo, aplicam-se os mesmos critérios anteriores para a determinação da resistência correspondente a cada uma das seções de corte, considerando-se  $t$  com o menor dos valores entre  $t_1$  e  $t_2/2$  em uma das seções, e entre  $t_2/2$  e  $t_3$  na outra.

A Norma de 1997 admite o emprego de anéis metálicos estruturais apenas com diâmetros internos  $d$  de 64 mm e 102 mm. Os anéis de 64 mm e 102 mm devem ser



acompanhados por parafusos de 12 mm e 19 mm, respectivamente, colocados no centro do anel. Os anéis devem ser fabricados com aço submetido às prescrições da NBR 8800. As ligações com anéis são consideradas rígidas.

Os anéis de 64 mm de diâmetro devem ter espessura da parede não menor que 4 mm, e os anéis de 102 mm de diâmetro devem ter espessura não menor que 5 mm.

A resistência de um anel metálico correspondente a uma dada seção de corte da ligação entre duas peças de madeira é determinada em função das resistências ao cisalhamento longitudinal  $f_{v0,d}$  das duas madeiras interligadas.

As chapas com dentes estampados somente podem ser empregadas em ligações estruturais quando a eficiência da cravação for garantida por seu executor.

Os espaçamentos mínimos recomendados para ligações com pinos (pregos com pré-furação, parafusos e cavilhas) são:

- Entre o centro de dois pinos situados em uma mesma linha paralela à direção das fibras: pregos e cavilhas afastados  $6d$ ; parafusos  $4d$
- Do centro do último pino à extremidade de peças tracionadas:  $7d$
- Do centro do último pino à extremidade de peças comprimidas:  $4d$
- Entre os centros de dois pinos situados em duas linhas paralelas à direção das fibras, medido perpendicularmente às fibras:  $3d$
- Do centro de qualquer pino à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for paralelo às fibras:  $1,5d$
- Do centro de qualquer pino à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde atuam tensões de tração normal:  $1,5d$
- Do centro de qualquer pino à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde atuam tensões de compressão normal:  $4d$

Nas ligações em que forem usados anéis metálicos, eles devem ser aplicados em ranhuras previamente feitas nas peças de madeira, com ferramentas apropriadas. Os espaçamentos mínimos recomendados são:

- Entre os centros de anéis metálicos na direção das fibras:  $1,5d$
- Do centro de qualquer anel metálico à extremidade da peça, no caso de esforço de tração paralelo às fibras:  $1,5d$
- Do centro de qualquer anel metálico à extremidade da peça, no caso de esforço de compressão paralelo às fibras:  $1,0d$
- Do centro de qualquer anel metálico à borda lateral:  $0,75d$
- Do centro de qualquer anel metálico à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde são acarretadas tensões de tração normal:  $1,0d$
- Do centro de qualquer anel metálico à borda lateral da peça, medido perpendicularmente às fibras, quando o esforço transmitido for normal às fibras, do lado onde são acarretadas tensões de compressão normal:  $0,75d$

O diâmetro mínimo do parafuso será de 12 mm para anéis metálicos com 64 mm de diâmetro interno e de 19 mm para anéis metálicos com diâmetro interno de 102 mm.

#### *2.6.16.2 Versão de 2022*

A Norma brasileira de 2022 estabelece que as ligações mecânicas tradicionais em peças de madeira podem ser divididas em quatro grupos principais, de acordo com o modo de transmissão da força entre os elementos conectados: ligações por pinos metálicos, ligações por anéis metálicos e chapas com dentes estampados, ligações por sambladuras ou entalhes, e ligações coladas.

As ligações por pinos possuem comportamento regido por um misto de flexão do pino e/ou embutimento do pino na madeira. Neste grupo se enquadram as ligações com parafusos passantes com porcas e arruelas (sextavado e francês), parafusos de rosca soberba, pregos e pinos metálicos ajustados. Já as ligações por anéis metálicos

e chapas com dentes estampados transmitem as forças entre os elementos de madeira de forma distinta, caracterizadas por grandes áreas de contato.

As ligações por sambladuras ou entalhes são aquelas cujo esforço é transmitido diretamente de um elemento de madeira ao outro por compressão em uma área determinada, mediante uma geometria que permita essa transferência de esforços. Nessas ligações, deve-se verificar a resistência à compressão nesse contato em ambos os elementos, considerando a inclinação dessa compressão em cada elemento, além de avaliar os esforços de cisalhamento na região dessas ligações.

As ligações coladas são formadas pela união entre elementos de madeira serrada por meio de adesivos estruturais. As peças podem ser coladas de face a face, borda a borda e entre as extremidades (na direção longitudinal). A ligação entre as extremidades, realizada por meio da colagem estrutural de peças usinadas por emendas denteadas (*finger-joint*), produzidas sob controle de qualidade industrial, devem atender aos requisitos do fabricante do adesivo e à ABNT NBR 7190-6:2022.

No cálculo das ligações, não é permitido considerar os esforços transmitidos por elementos secundários como estribos, braçadeiras ou grampos. No caso de ligações por pinos metálicos, devem ser respeitados os espaçamentos e pré-furações especificados para evitar o fendilhamento precoce da madeira em virtude da introdução dos elementos de união. A Norma também proíbe expressamente ligações com apenas um pino metálico.

Em ligações onde os conectores transferem forças inclinadas em relação às fibras da madeira, deve ser verificada a possibilidade de ruptura por tração normal localizada, causada pela força  $F_{ed} \cdot \sin \alpha$ , perpendicular às fibras, atendendo à condição de segurança específica.

O dimensionamento dos elementos de ligação para os estados-limite últimos deve atender às condições de segurança conforme:

$$R_d \geq S_d$$

Onde:

$R_d$  é o valor de cálculo da resistência da ligação;

$S_d$  é o valor de cálculo das solicitações nela atuantes.

O valor de cálculo da resistência da ligação é definido a partir do valor característico da resistência da ligação, calculado pela equação:

$$R_d = k_{mod} * \frac{R_k}{\gamma_w} \text{ (Eq. 75)}$$

Os valores de  $k_{mod}$  são definidos conforme seção 5.8.4 da Norma. O valor do coeficiente de minoração das propriedades de resistência da ligação é definido como sendo igual a 1,4.

Um aspecto importante é que, no dimensionamento de ligações com o uso de conectores em aço, não se pode utilizar valor de  $K_{mod1}$  superior a 1, mesmo para combinação de ações de duração instantânea.

O valor característico da resistência da ligação  $R_k$  deve ser determinado de acordo com a ABNT NBR 7190-5. Na ausência da determinação experimental específica, admite-se a utilização das metodologias descritas nas seções subsequentes da Norma.

Em princípio, o estado limite último da ligação pode ser atingido por deficiência de resistência da madeira da peça estrutural ou do elemento de ligação. As ligações feitas pelos meios usuais de peças de madeira ou pelo emprego de elementos intermediários de aço devem ter sua segurança verificada de acordo com esta Norma, no caso de elementos de madeira, ou de acordo com a ABNT NBR 8800, no caso de elementos intermediários de aço.

A resistência de embutimento da madeira deve ser determinada por meio do ensaio de embutimento, conforme a ABNT NBR 7190-3. Na falta da determinação experimental específica, admitem-se as relações aproximadas apresentadas na seção 6.2.5 da Norma.

O momento resistente característico do pino metálico  $M_{yR,k}$  em N\*mm deve ser determinado pela seguinte equação:

$$M_{yR,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6} \text{ (Eq. 76)}$$

Onde:

$M_{yR,k}$  é o momento resistente característico do pino metálico em N\*mm;

$f_{u,k}$  é a resistência característica à ruptura do aço;

d é o diâmetro do pino.

Esta equação representa uma evolução significativa em relação à Norma anterior, permitindo um cálculo mais preciso do momento resistente do pino, fator crucial para a determinação da resistência das ligações.

Na presença de binários atuando no plano da união, além das tensões primárias decorrentes dos esforços atuantes nas peças interligadas, também devem ser consideradas as tensões secundárias devidas às excentricidades existentes entre os eixos mecânicos das peças interligadas e o centro de rotação da união em seu plano de atuação.

A utilização de cola nas ligações deve atender às especificações técnicas comprovadamente satisfatórias, conforme descrito na seção 7.1.1 da Norma. A Norma de 2022 especifica que somente pode ser colada madeira seca em estufa, um requisito mais rigoroso em comparação com a versão anterior.

Nas ligações com até oito pinos em linha, dispostos paralelamente ao esforço a ser transmitido, a resistência total é dada pela soma das resistências de cada um dos pinos.

Para ligações com mais de oito pinos em linha, os pinos suplementares devem ser considerados com apenas 2/3 de sua resistência individual. Neste caso, sendo  $n_c$  o número de pinos, a ligação deve ser calculada conforme a seguinte equação, com o número efetivo de pinos resistentes  $n_{ef}$ :

$$n_{ef} = 8 + \frac{2}{3} * (n_c - 8) \text{ (Eq. 77)}$$

Em que:

$n_{ef}$  é o número efetivo de pinos resistentes;

$n_c$  é o número total de pinos.

A Norma de 2022 introduz orientações específicas para ligações com múltiplas seções de corte. Nestas ligações, a resistência de cada plano de corte deve ser determinada considerando que cada plano de corte é parte de uma ligação na configuração em duplo corte.

Os elementos de ligação utilizados em estruturas de madeira devem atender a dimensões e resistências mínimas específicas:

- Os pregos estruturais devem ter diâmetro nominal  $d$  mínimo de 3,0 mm, atendendo as especificações da ABNT NBR 6627, e serem feitos de aço com baixo teor de carbono atendendo as especificações da ABNT NBR 5589.
- Os parafusos estruturais passantes com porca e arruela com cabeça sextavada devem ser de diâmetro nominal  $d$  mínimo de 9,5 mm, serem feitos de aço com baixo teor de carbono atendendo as especificações da ASTM A307, ASTM A325, ASTM A490, ou ISO 898-1. As porcas e arruelas devem ser feitas de aço com baixo teor de carbono e resistência característica de escoamento  $f_{y,k}$  de pelo menos 250 MPa. As arruelas devem ter diâmetro externo maior ou igual a  $3d$ , espessura maior ou igual a  $0,3d$  e devem ser utilizadas em ambos os lados do parafuso.
- Os parafusos de rosca soberba devem ser de diâmetro nominal  $d$  mínimo de 9,5 mm, e devem ser feitos de aço com baixo teor de carbono, atendendo a resistência mínima característica de escoamento  $f_{y,k}$  de pelo menos 250 MPa.

Os espaçamentos e distâncias mínimas recomendados em ligações com pinos metálicos (pregos com pré-furação, parafusos passantes com porcas e arruelas, parafusos de rosca soberba, parafusos ajustados, pinos lisos) e anéis metálicos são apresentados nas Tabelas 14 e 15 da Norma.

As Figuras 26 e 27 mostram os valores das Tabelas 14 e 15 referentes à espaçamentos e distâncias mínimas.

Figura 26 – Espaçamentos mínimos para ligações com pinos metálicos, segundo a Tabela 14 da NBR 7190:2022

Tabela 14 – Espaçamentos e distâncias mínimas para ligações com pinos metálicos				
Espaçamento ou distância	Ângulo $\alpha$	Pregos com pré-furação	Parafusos passantes, parafusos de rosca soberba e parafusos ajustados	Pinos lisos
Espaçamento $a_1$ (paralelo às fibras)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + 3  \cos \alpha ) d$	$(4 + 3  \cos \alpha ) d$	$(3 + 3  \cos \alpha ) d$
Espaçamento $a_2$ (perpendicular às fibras)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 6  \sin \alpha ) d$	$4 d$	$3 d$
Distância $a_{3,t}$ (extremidade carregada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(7 + 5  \cos \alpha ) d$	Maior entre 7 d e 80 mm	Maior entre 7 d e 80 mm
Distância $a_{3,c}$ (extremidade não carregada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	7 d	$(1 + 6 \sin \alpha) d$	Maior entre $[(a_{3,t}  \sin \alpha ) d]$ e d
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	7 d	4 d	3d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	7 d	$(1 + 6  \sin \alpha ) d$	Maior entre $[(a_{3,t}  \sin \alpha )] d$ e d
Distância $a_{4,t}$ (borda lateral carregada)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	Para $d < 5 \text{ mm}$ : $(3 + 2 \sin \alpha) d$ Para $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(3 + 4 \sin \alpha) d$	Maior entre $(2 + 2 \sin \alpha) d$ e 3 d	Maior entre $(2 + 2 \sin \alpha) d$ e 3 d
Distância $a_{4,c}$ (borda lateral não carregada)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d	3 d	3 d

Fonte: Autor.

Figura 27 – Espaçamentos mínimos para ligações com anéis metálicos, segundo a Tabela 15 da NBR 7190:2022

Tabela 15 – Espaçamentos e distâncias mínimas para ligações com anéis metálicos		
Espaçamento ou distância	Ângulo $\alpha$	Anéis metálicos
Espaçamento $a_1$ (paralelo às fibras)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8  \cos \alpha ) d_a$
Espaçamento $a_2$ (perpendicular às fibras)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_a$
Distância $a_{3,t}$ (extremidade carregada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2 d_a$
Distância $a_{3,c}$ (extremidade não carregada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,9 + 0,6  \sin \alpha ) d_a$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 d_a$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9 + 0,6  \sin \alpha ) d_a$
Distância $a_{4,t}$ (borda lateral carregada)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,8 + 0,2  \sin \alpha ) d_a$
Distância $a_{4,c}$ (borda lateral não carregada)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,75 d_a$

Fonte: Autor.

Os índices da Tabela 14 e 15 são:

- $a_1$  é o espaçamento entre o centro de dois conectores situados em uma mesma linha paralela à direção das fibras;

- $a_2$  é o espaçamento entre os centros de dois conectores situados em duas linhas perpendiculares à direção das fibras;
- $a_{3,c}$  é a distância do centro do conector à extremidade não carregada da peça;
- $a_{3,t}$  é a distância do centro do conector à extremidade carregada da peça;
- $a_{4,c}$  é a distância do centro do conector à borda lateral não carregada da peça;
- $a_{4,t}$  é a distância do centro do conector à borda lateral carregada da peça;
- $\alpha$  é o ângulo entre a força e a direção das fibras.

Em uniões pregadas, deve ser feita a pré-furação da madeira, com diâmetro do não maior que o diâmetro  $d$  do prego, com os valores de 85% para madeiras coníferas e 98% para madeiras folhosas.

Em estruturas provisórias, admite-se a utilização de ligações pregadas sem a pré-furação da madeira, desde que se utilizem madeiras de baixa densidade,  $\rho_{ap} \leq 600 \text{ kg/m}^3$ , que permitam a penetração dos pregos sem risco de fendilhamento, e pregos com diâmetro  $d$  de no máximo  $1/6$  da espessura do elemento de madeira mais delgado e com espaçamento mínimo de  $10d$ .

A Norma de 2022 também apresenta uma nota importante: quando utilizado sistema mecânico ou pneumático de pregação, não é necessária a pré-furação da madeira. Nesses casos, porém, cabe à indústria avaliar a relação entre a rigidez da madeira, o diâmetro do pino e a pressão, a fim de evitar o fendilhamento da madeira na fixação ou o cravamento excessivo da cabeça do prego.

As ligações em madeira com parafusos passantes devem ser realizadas com pré-furação de no mínimo o diâmetro  $d$  e, no máximo 1 mm maior que o diâmetro  $d$ , considerando  $d$  o diâmetro do parafuso passante a ser utilizado.

Os parafusos de rosca soberba devem ser instalados com pré-furação de aproximadamente 70% do diâmetro do parafuso. A Tabela 15 da Norma apresenta o diâmetro de pré-furação para ligações em madeira.

As ligações podem ser calculadas como rotuladas, rígidas ou semirrígidas. Cabe ao projetista comprovar por meio de modelos teóricos e/ou experimentais o cálculo da adoção de ligações rígidas e semirrígidas.



A rigidez axial de ligações deve ser obtida conforme ABNT NBR 7190-5. No caso de impossibilidade de realização do ensaio, pode-se estimar a rigidez axial de ligações em elementos de madeira conforme a Tabela 16 da Norma.

Para ligações com elementos de madeira de diferentes densidades, a densidade média  $\rho_{med}$  deve ser calculada conforme uma equação específica fornecida na Norma.

A rigidez de serviço  $K_{ser}$  deve ser utilizada para a verificação dos estados-limite de serviço e, para os estados-limite últimos, deve-se utilizar a rigidez última  $K_u$ , calculada conforme equação específica.

A rigidez de ligações em elementos de madeira e aço pode ser considerada como o dobro da calculada utilizando a mesma equação para elementos de madeira, considerando  $\rho_m$  como a densidade do elemento de madeira. As equações só se aplicam para ligações com pinos metálicos instalados perpendicularmente às seções de corte.

A resistência de ligações com pinos metálicos deve atender a ABNT NBR 7190-5. No caso de impossibilidade de realização do ensaio, pode-se estimar a resistência característica da ligação pela seguinte equação:

$$R_K = F_{VR,k} * n_{sp} * n_0 \text{ (Eq. 78)}$$

Em que:

$R_k$  é a resistência característica da ligação;

$F_{V,Rk}$  é a resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte (kN);

$n_{sp}$  é a quantidade de seções de corte por pino metálico;

$n_0$  é o número efetivo de pinos por ligação;

Para que a ligação possa ser considerada resistente, devem ser atendidas as especificações de espaçamentos e de pré-furação, além de outras condições específicas:

- Tanto na configuração em corte simples como na configuração em corte duplo, o diâmetro efetivo do parafuso passante não pode exceder a metade da menor espessura dos elementos de madeira interligados.
- O diâmetro efetivo do prego não pode ser maior que um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. Permite-se que o diâmetro efetivo do prego seja maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do prego.
- A penetração do prego em qualquer uma das peças ligadas não pode ser menor que a espessura da peça mais delgada. Caso contrário, o prego é considerado não resistente.
- Em ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos  $12d$  ou igual à espessura dessa peça. Em ligações corridas, como em peças compostas ligadas continuamente, esta penetração pode ser limitada ao valor de  $t_1$ .
- O diâmetro efetivo do parafuso de rosca soberba não pode ser maior que um quinto da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. Permite-se que o diâmetro efetivo do parafuso seja maior que um quarto da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do parafuso.
- Em ligações localizadas, a penetração da ponta do parafuso na peça de madeira mais distante de sua cabeça deve ser de pelo menos  $6d$  ou igual à espessura dessa peça. Em ligações corridas, como em peças compostas ligadas continuamente, esta penetração pode ser limitada ao valor de  $t_1$ .

A resistência característica de uma seção de corte de um pino é determinada como o menor valor dentre os obtidos pelas Equações indicadas nas Tabelas 17 ou 18 da Norma, que são regidas pelos diferentes modos de falha, em função da resistência de embutimento e da espessura dos elementos de madeira interligadas, do momento resistente do pino metálico e do diâmetro efetivo do pino.

O valor  $F_{ax,Rk}/4$  é a contribuição do efeito de confinamento provocado pela compressão das arruelas nas laterais externas da ligação, ou pela resistência ao

arrancamento no caso de pregos e parafusos de rosca soberba, ou embutimento da cabeça do prego ou parafuso de rosca soberba na lateral externa da peça de madeira. A contribuição do efeito de confinamento deve ser limitada às seguintes porcentagens das parcelas das equações que representam os modos de falha I, II e III, desconsiderando o fator de atrito:

- Pregos cilíndricos lisos (15%)
- Pregos anelados (25%)
- Parafusos passantes com porca e arruelas (25%)
- Parafusos de rosca soberba (100%)
- Pinos metálicos ajustados (0%)

A Norma recomenda que a contribuição do efeito de confinamento seja considerada após investigação experimental que comprove o fenômeno.

Para o caso de ligações com parafusos passantes, o valor  $F_{ax,Rk}$  pode ser estimado pelo menor valor dentre a resistência de tração do parafuso e a resistência ao embutimento da arruela na madeira.

Para o caso de ligações com pregos, o valor  $F_{ax,Rk}$  pode ser estimado pelo menor valor dentre a resistência de tração do prego e a resistência ao embutimento da cabeça do prego na lateral externa da peça de madeira.

A resistência de ligações com parafusos passantes com chapas de aço laterais ou chapa de aço central deve ser obtida conforme a ABNT NBR 7190-5. No caso de impossibilidade de realização do ensaio padronizado, pode-se estimar a resistência característica da ligação por uma equação específica.

As ligações em madeira realizadas com chapas de aço e pinos metálicos possuem modos de falha caracterizados pela espessura  $t_s$  das chapas de aço. Chapas de aço com espessura menor ou igual a  $0,5d$  são classificadas como chapas finas e, chapas com espessura maior ou igual a  $d$  e diâmetro de pré-furação menor ou igual a  $1,1d$  são classificadas como chapas grossas.

A resistência característica de ligação com limites compreendidos entre chapa fina e chapa grossa deve ser calculada por interpolação linear a partir dos menores

valores obtidos pelas equações correspondentes. A resistência ao corte do pino metálico, bem como a resistência da chapa de aço, deve ser verificada de acordo com a ABNT NBR 8800.




Para que a ligação possa ser considerada resistente, devem ser atendidas as especificações de espaçamentos e pré-furação, os espaçamentos e o diâmetro de pré-furação das chapas de aço, conforme a ABNT NBR 8800, bem como outras condições específicas detalhadas na Norma.

A resistência característica de ligações com anéis metálicos deve ser conforme a ABNT NBR 7190-5. No caso de impossibilidade de realização do ensaio padronizado, pode-se estimar a resistência característica da ligação por uma equação específica fornecida na Norma.

As chapas com dentes estampados somente podem ser empregadas em ligações estruturais quando a eficiência da cravação for garantida por seu executor. Os valores da resistência de cálculo que podem ser atribuídos às chapas com dentes estampados, correspondentes a uma única seção de corte, devem ser assegurados pelo respectivo fabricante, conforme a legislação vigente.



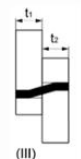
As Figuras 28, 29 e 30 apresentam os modos de falha considerados pela NBR 7190:2022 no dimensionamento das ligações.

Figura 28 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (parte 1), conforme a Tabela 18 da NBR 7190:2022

Tabela 18 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (uma seção de corte) (continua)	
Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
 (Ia)	$F_{V,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$
 (Ib)	$F_{V,Rk2} = f_{e1,k} t_2 d \beta$
 (Ic)	$F_{V,Rk3} = \frac{f_{e1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

Figura 29 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (conclusão), conforme a Tabela 18 da NBR 7190:2022

Tabela 18 (conclusão)	
Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
 (IIa)	$F_{V,Rk4} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
 (IIb)	$F_{V,Rk5} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
 (III)	$F_{V,Rk6} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
$F_{V,Rk}$ é o menor valor dentre os resultados dos seis modos de falha.	

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

Figura 30 – Modos de falha e equações para ligações com chapas metálicas e pinos, conforme a NBR 7190:2022

—	para ligações com chapas finas em corte simples:
Modo de falha (a)	$F_{v,Rk} = 0,4 \cdot f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$
Modo de falha (b)	$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
—	para ligações com chapas grossas em corte simples:
Modo de falha (c)	$F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$
Modo de falha (d)	$F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{e1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
Modo de falha (e)	$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[ \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
—	para ligações com chapa de aço central de qualquer espessura, em dupla seção de corte:
Modo de falha (f)	$F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d$
Modo de falha (g)	$F_{v,Rk} = f_{e1,k} \cdot t_1 \cdot d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{e1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
Modo de falha (h)	$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[ \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e1,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
—	para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como finas, em corte duplo:
Modo de falha (i)	$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d$
Modo de falha (j)	$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{e2,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
—	para ligações com duas chapas laterais caracterizadas como grossas, em corte duplo:
Modo de falha (k)	$F_{v,Rk} = 0,5 \cdot f_{e2,k} \cdot t_2 \cdot d$
Modo de falha (l)	$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \left[ \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{e2,k} \cdot d} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
onde	
$t_1$	é a menor espessura dentre os elementos de madeira laterais, para os casos em corte simples e corte duplo;
$t_2$	é a espessura do elemento de madeira central para os casos em corte duplo;
$f_{e1,k}$ e $f_{e2,k}$	são as resistências ao embutimento dos elementos de madeira 1 e 2, respectivamente, calculados conforme 7.1.3;
$M_{y,Rk}$	é o momento característico resistente do parafuso, determinado conforme 7.1.4.

Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

## *2.6.17 Disposições construtivas*

### *2.6.17.1 Versão de 1997*

A Norma NBR 7190:1997 apresenta suas diretrizes construtivas no Capítulo 10, abordando aspectos essenciais do projeto, da execução e da manutenção de estruturas de madeira. Inicialmente, a Norma destaca que o sistema estrutural deve ser claramente definido, com o objetivo de minimizar incertezas nos valores dos esforços atuantes nas seções críticas da estrutura. Em sistemas estaticamente indeterminados, a utilização de ligações rígidas é obrigatória, conforme especificado em outros itens da Norma. Além disso, enfatiza-se a importância de medidas para evitar a deterioração precoce das peças de madeira, como o tratamento preservativo adequado, o escoamento eficiente das águas e a ventilação entre superfícies adjacentes. Todas as peças devem ser projetadas para possibilitar fácil inspeção, e aquelas que estejam mais sujeitas à degradação devem ser de simples substituição, de modo que essa substituição faça parte das práticas normais de conservação da estrutura.

A Norma estabelece limites mínimos para as dimensões das seções transversais das peças estruturais. Para peças principais isoladas, como vigas e barras longitudinais de treliças, exige-se área mínima de 50 cm<sup>2</sup> e espessura mínima de 5 cm. Para peças secundárias isoladas, os limites mínimos são de 18 cm<sup>2</sup> e 2,5 cm, respectivamente. Quando se trata de peças principais múltiplas, cada elemento componente deve possuir área mínima de 35 cm<sup>2</sup> e espessura mínima de 2,5 cm, enquanto nas peças secundárias múltiplas os limites mínimos são de 18 cm<sup>2</sup> e 1,8 cm. Além disso, a Norma apresenta exigências específicas quanto aos diâmetros mínimos de pregos, parafusos e cavilhas, além de dimensões mínimas para arruelas, que devem possuir diâmetro ou lado de pelo menos 3 vezes o diâmetro do parafuso, espessura mínima de 9 mm em pontes e 6 mm em outras estruturas. Também são definidos critérios para espessura mínima das chapas de aço utilizadas nas ligações: 9 mm em pontes e 6 mm em outras aplicações.

Com relação à esbeltez das peças, a Norma estabelece limites rigorosos. Não é permitida a utilização de peças comprimidas com comprimento teórico de flambagem superior a 40 vezes a menor dimensão da seção transversal. Para peças tracionadas, esse limite é de 50 vezes.

Utilizando esse critério para esbeltezes máximas, é possível chegar nas seguintes relações:

Para tração:  $\lambda \leq 170$

Para compressão:  $\lambda \leq 140$

Tais limites visam garantir o desempenho estrutural adequado das peças submetidas a esforços normais.

As orientações sobre ligações também são abrangentes. Deve-se evitar defeitos como nós, ranhuras ou lascamentos nas regiões de ligação, pois podem comprometer a resistência estrutural. Os pregos devem ser cravados em ângulos retos em relação às fibras da madeira, e a pré-furação deve obedecer às recomendações específicas para cada tipo de conector. Em elementos de treliça, os eixos das barras devem coincidir com os nós teóricos sempre que possível. Os pinos e cavilhas devem ser dispostos simetricamente em relação ao eixo da peça para evitar afrouxamentos simultâneos decorrentes de fendilhamentos. A Norma ainda inclui orientações específicas para elementos de madeira laminada colada, exigindo controle industrial durante a fabricação, uso de adesivos adequados e respeito ao tempo necessário de cura antes da aplicação de cargas.

Em relação à execução, a Norma exige que os trabalhos de carpintaria sejam realizados por profissionais experientes, supervisionados por um mestre carpinteiro. As superfícies de ligação devem ser bem ajustadas, e as peças que apresentarem empenamentos ou falhas de adaptação durante a montagem devem ser substituídas. Perfurações e ajustes para elementos de ligação devem ser realizados com ferramentas apropriadas e precisão dimensional. Quando houver aplicação de contraflechas, estas devem ser distribuídas de forma parabólica ao longo do vão da peça.

Por fim, a Norma define critérios para a classificação das peças de madeira. Para serem consideradas de primeira categoria, as peças devem ser classificadas simultaneamente por métodos visuais e mecânicos. A classificação exclusivamente visual não é permitida para essa categoria. As peças de segunda categoria podem ser avaliadas com base em apenas um dos métodos. Além disso, a aceitação de um lote de madeira deve ser condicionada à verificação de que a resistência característica à



compressão paralela às fibras é igual ou superior ao valor especificado, conforme definido nos critérios de amostragem da Norma.

#### *2.6.17.2 Versão de 2022*

A Norma reforça que o sistema estático da estrutura deve ser definido de maneira a garantir segurança na obtenção dos esforços solicitantes e nos deslocamentos, considerando, quando necessário, as rigidezes das ligações. Permanecem também as recomendações para garantir a durabilidade da madeira, como a aplicação de tratamentos preservativos, o escoamento adequado da água e o arejamento das superfícies vizinhas. Todas as peças devem, sempre que possível, permitir inspeções facilitadas e, no caso daquelas sujeitas a degradação mais rápida, sua substituição deve ser prevista no projeto como parte da manutenção rotineira.

No que diz respeito às dimensões mínimas das seções transversais das peças estruturais, a Norma mantém os mesmos valores da versão anterior. Para peças principais isoladas, exige-se área mínima de 50 cm<sup>2</sup> e espessura mínima de 5 cm; para peças secundárias isoladas, área mínima de 18 cm<sup>2</sup> e espessura mínima de 2,5 cm. Para peças principais múltiplas, cada componente deve possuir área mínima de 35 cm<sup>2</sup> e espessura mínima de 2,5 cm, enquanto nas peças secundárias múltiplas os valores são de 18 cm<sup>2</sup> e 1,8 cm. A Norma permite a utilização de valores inferiores para estruturas industrializadas, desde que haja comprovação experimental ou teórica de eficiência estrutural e controle de qualidade assegurado pela empresa produtora.

As orientações referentes às arruelas foram atualizadas com base na Norma ISO 7094. A NBR 7190:2022 exige que, na fixação de parafusos, as arruelas tenham diâmetro externo mínimo de 3 vezes o diâmetro nominal do parafuso (3d) e espessura mínima de 0,3d.

Os limites de esbeltez estabelecidos para as peças estruturais permanecem inalterados. Não é permitida a utilização de peças comprimidas cujo comprimento de flambagem seja superior a 40 vezes a menor dimensão da seção transversal. Para peças tracionadas, o limite continua sendo de 50 vezes. Esses critérios têm como objetivo controlar o risco de instabilidade e deformações excessivas nos elementos estruturais.

As relações para esbeltezes máximas permanecem as mesmas da versão anterior:

Para tração:  $\lambda \leq 170$

Para compressão:  $\lambda \leq 140$

As diretrizes para ligações mantêm os mesmos fundamentos da versão anterior. É necessário evitar a presença de defeitos nas regiões de ligação e garantir a correta orientação dos pregos, que devem ser cravados perpendicularmente às fibras da madeira. As exigências de pré-furação continuam válidas e devem atender às recomendações atualizadas da Norma, especificamente aos itens 7.1.11 e 7.1.12. É necessário alinhar os eixos das barras das treliças com os nós teóricos da estrutura. Os pinos devem ser dispostos de forma simétrica em relação ao eixo da peça, a fim de reduzir o risco de afrouxamento simultâneo devido ao fendilhamento da madeira. Para elementos de madeira lamelada colada, a Norma orienta que é necessário o controle industrial no processo de fabricação, respeitando as recomendações dos fabricantes quanto à mistura dos adesivos, condições ambientais de aplicação e tempo de cura.

Na etapa de execução, a Norma exige que os serviços de carpintaria sejam realizados por profissionais habilitados, com verificação adequada do ajuste das superfícies de ligação. As conexões devem ser bem encaixadas e adaptadas. As peças com defeitos ou mal encaixadas durante a montagem devem ser substituídas. A aplicação de contraflechas deve seguir uma distribuição que se aproxime o máximo possível da forma parabólica ao longo do vão da peça.

A classificação das peças de madeira depende da conformidade com valores normativos de resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}$ ) ou de resistência à flexão ( $f_{m,k}$ ), conforme apresentado nas tabelas da Norma. Essa verificação deve ser feita por fornecedores legalmente habilitados, com base na legislação vigente. A Norma também apresenta critérios para peças de seção circular variável, como toras roliças. Nesses casos, pode-se adotar o conceito de diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ), desde que seja respeitada a condição de  $d_{eq} \leq 1,5 * d_{min}$ , o que permite maior aplicabilidade de elementos não padronizados, mantendo os critérios de segurança.

### *2.6.18 Projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira*

Esta seção do trabalho aborda os requisitos gerais de projeto, execução e de estruturas treliçadas de madeira para cobertura, além de requisitos que devem ser atendidos e as exigências peculiares a cada caso particular.

#### *2.6.18.1 Versão de 1997*

A versão de 1997 da NBR 7190 não contempla uma seção específica sobre o projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira.

#### *2.6.18.2 Versão de 2022*

Quanto às ações atuantes, a Norma determina que o dimensionamento das coberturas siga as prescrições estabelecidas nas normas ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6123 e ABNT NBR 8681. Para coberturas com inclinação igual ou superior a 3% e que não estejam sujeitas a carregamentos excepcionais, recomenda-se a adoção de uma sobrecarga vertical característica mínima de  $0,25 \text{ kN/m}^2$ , considerada sobre a projeção horizontal da área da cobertura. Adicionalmente, para representar os efeitos do processo construtivo, deve-se prever uma força concentrada de 1 kN atuando na posição mais desfavorável de elementos com vãos superiores a 70 cm. Em casos de coberturas especiais, a Norma orienta que a sobrecarga seja definida conforme a finalidade da estrutura.

Em relação às disposições construtivas, é exigido o cumprimento de todos os requisitos estabelecidos anteriormente na seção 9 da Norma, além das recomendações complementares aplicáveis às estruturas de cobertura. As tesouras devem apresentar desvios máximos de até  $1/300$  da dimensão da estrutura na direção analisada, em relação ao plano teórico. Caso esse limite seja ultrapassado, a análise estrutural deve considerar a forma inicial deformada da estrutura. Os eixos teóricos das barras devem atender às exigências de retilineidade, conforme limites de curvatura estabelecidos pela Norma, e obrigatoriamente devem convergir para os nós teóricos da treliça.

As seções transversais dos elementos devem ser definidas considerando eventuais reduções causadas por processos de aplainamento, desconsiderando, portanto, as dimensões nominais das peças quando estas forem alteradas por usinagem. Essa recomendação visa garantir que os cálculos estruturais sejam baseados nas dimensões reais das peças em serviço.

No que se refere às ligações, a Norma impõe que um mesmo nó estrutural não utilize diferentes tipos de elementos de ligação, a menos que haja comprovação teórica e experimental de sua eficácia. Em coberturas sujeitas a inversão de esforços provocada por ação do vento, os detalhes construtivos e os tipos de ligação e apoio devem ser compatíveis com a natureza dos esforços atuantes. Além disso, as excentricidades resultantes da disposição assimétrica de pinos ou conectores, bem como de entalhes irregulares, devem ser consideradas na verificação das seções transversais mais críticas.

A Norma ainda permite uma análise simplificada para sistemas perfeitamente triangulados. Quando não for possível realizar um cálculo detalhado considerando a deformabilidade das ligações e outros efeitos, é admissível tratar os nós como articulados, desde que sejam atendidas as seguintes condições geométricas: inexistência de ângulos reentrantes no contorno da estrutura, os eixos dos apoios devem coincidir com os nós teóricos e a altura da treliça deve ser superior a 0,15 vezes o vão e a 10 vezes a altura da seção transversal dos banzos. A interação entre o sistema de contraventamento e a estrutura principal deve ser considerada, somando-se os esforços das análises separadas como se fossem estruturas independentes.

Para a verificação dos estados-limite de serviço, a Norma exige que, ao se calcular os deslocamentos das tesouras, sejam considerados não apenas os efeitos elásticos das barras, mas também os efeitos da deformação lenta (fluência) e da deformabilidade das ligações, além da compensação proporcionada pelas contraflechas aplicadas. Na ausência de modelos específicos para cálculo desses efeitos adicionais, admite-se que a parcela referente à fluência e às ligações seja equivalente ao valor da deformação elástica das barras. Recomenda-se que seja adotada uma contraflecha de valor igual a  $L/300$ , sendo vedada a montagem de

estruturas utilizando madeira com teor de umidade superior a 25%, assegurando assim a estabilidade dimensional da estrutura ao longo do tempo.

#### *2.6.19 Estruturas de madeira em situação de incêndio*

##### *2.6.19.1 Versão de 1997*

Esta versão da NBR 7190 não contempla nenhuma seção específica dedicada ao projeto de estruturas de madeira em situação de incêndio.

##### *2.6.19.2 Versão de 2022*

Essa seção se aplica aos casos em que a segurança estrutural durante o incêndio seja necessária, como em edifícios residenciais, comerciais, industriais e públicos. O texto destaca que o desempenho da madeira sob fogo é influenciado tanto por propriedades intrínsecas (como densidade, teor de umidade, orientação da grã, composição química, permeabilidade e condutividade térmica) quanto por fatores extrínsecos (como temperatura, tempo de exposição e ventilação do ambiente).

Um dos principais aspectos tratados na Norma é o comportamento da madeira frente ao calor: mesmo sob altas temperaturas, o núcleo da seção transversal tende a permanecer relativamente frio, a uma pequena distância da zona carbonizada. Essa característica natural da madeira é considerada favorável para a segurança estrutural durante incêndios.

A Norma define o dimensionamento em situação de incêndio como a verificação da capacidade resistente dos elementos estruturais e de suas conexões, com ou sem revestimento contra fogo, em condição de temperatura elevada. O objetivo principal é garantir que a estrutura resista por tempo suficiente para permitir a evacuação segura dos ocupantes e, quando necessário, possibilitar o acesso de equipes e equipamentos de combate ao incêndio.

Para isso, a Norma apresenta o método da seção reduzida, um procedimento simplificado que considera a perda da seção transversal devido à carbonização. Apesar de ser denominado “simplificado”, o método é conservador, pois tende a superdimensionar os elementos, aumentando a espessura ou número de camadas, o

que reforça a segurança da estrutura. Alternativamente, também é permitida a utilização de métodos avançados, como a análise térmica baseada na norma europeia EN 1995-1-2, desde que adaptados às exigências da norma brasileira, ou ainda o uso de resultados de ensaios laboratoriais, conforme a ABNT NBR 5628.

Além disso, a Norma traz uma importante observação para elementos em madeira laminada colada (MLC) e madeira laminada colada cruzada (MLCC): nesses casos, é necessário considerar a possibilidade de delaminação das camadas em situações de incêndio, caso não haja comprovação da resistência da colagem entre as lamelas. A responsabilidade por fornecer essa comprovação é do fabricante do adesivo, que deve apresentar os resultados conforme normas técnicas específicas, como ANSI A405, ASTM D7247, ASTM D3535, CSA O170 e CSA O112.

#### *2.6.20 Durabilidade e proteção da madeira*

##### *2.6.20.1 Versão de 1997*

A Norma apresenta que a madeira é um material orgânico naturalmente suscetível à biodeterioração, sendo essencial, no desenvolvimento de projetos estruturais, assegurar uma durabilidade mínima condizente com a finalidade da construção e o investimento realizado.

A Norma orienta que os componentes da edificação em madeira podem estar sujeitos a diferentes classes de risco, a depender da presença de organismos xilófagos no ambiente e das condições que favorecem a degradação. Como medida de prevenção, recomenda-se a utilização de espécies com boa resistência natural à biodeterioração ou que apresentem elevada permeabilidade a líquidos preservativos, desde que sejam aplicados tratamentos adequados e seguros.

##### *2.6.20.2 Versão de 2022*

A versão de 2022 da NBR 7190 traz uma seção exclusiva dedicado ao tema da durabilidade da madeira.

A Norma passa a exigir uma análise prévia das condições de uso da madeira na estrutura, com o objetivo de identificar a necessidade de tratamento preservativo

específico, considerando a ação de agentes biodeterioradores como fungos, insetos xilófagos e perfuradores marinhos.

O Sistema de Categorias de Uso descrito pela Norma organiza a exposição da madeira em seis categorias distintas, conforme as condições ambientais, o desempenho esperado do componente e os agentes de degradação presentes. Este sistema visa orientar, de forma simplificada, a escolha mais apropriada da espécie, do produto preservativo e do processo de tratamento, promovendo maior durabilidade das construções em madeira.

A Norma de 2022 também estabelece etapas claras para a tomada de decisão no projeto. Inicialmente, o projetista deve definir o nível de desempenho necessário para cada componente estrutural, considerando a vida útil desejada, a responsabilidade estrutural e eventuais exigências legais ou comerciais. Em seguida, é feita uma avaliação dos riscos biológicos aos quais a madeira estará exposta durante sua vida útil. A partir dessa análise, deve-se escolher uma espécie de madeira adequada e verificar se há necessidade de tratamento preservativo, principalmente se a madeira não for naturalmente durável ou contiver alburno, região mais suscetível ao ataque biológico. Por fim, a Norma orienta a escolha do processo de tratamento e do produto preservativo mais apropriado, com base na durabilidade da espécie e nas condições da categoria de uso.

### **3 METODOLOGIA DA PESQUISA**

#### **3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL**

A primeira etapa da pesquisa consistiu na revisão das normas NBR 7190:1997 e NBR 7190:2022, com o objetivo de compreender os critérios normativos aplicáveis ao dimensionamento de estruturas de madeira. A análise dessas versões permitiu identificar as diferenças e implicações práticas de cada uma. Além das normas, foram consultadas obras técnicas fundamentais para o embasamento teórico do trabalho, como livros, artigos e manuais de projeto de estruturas de madeira. Essas referências forneceram subsídios importantes sobre o comportamento estrutural da madeira, os sistemas usuais de cobertura, os métodos de cálculo e os aspectos relacionados à durabilidade dos elementos estruturais.

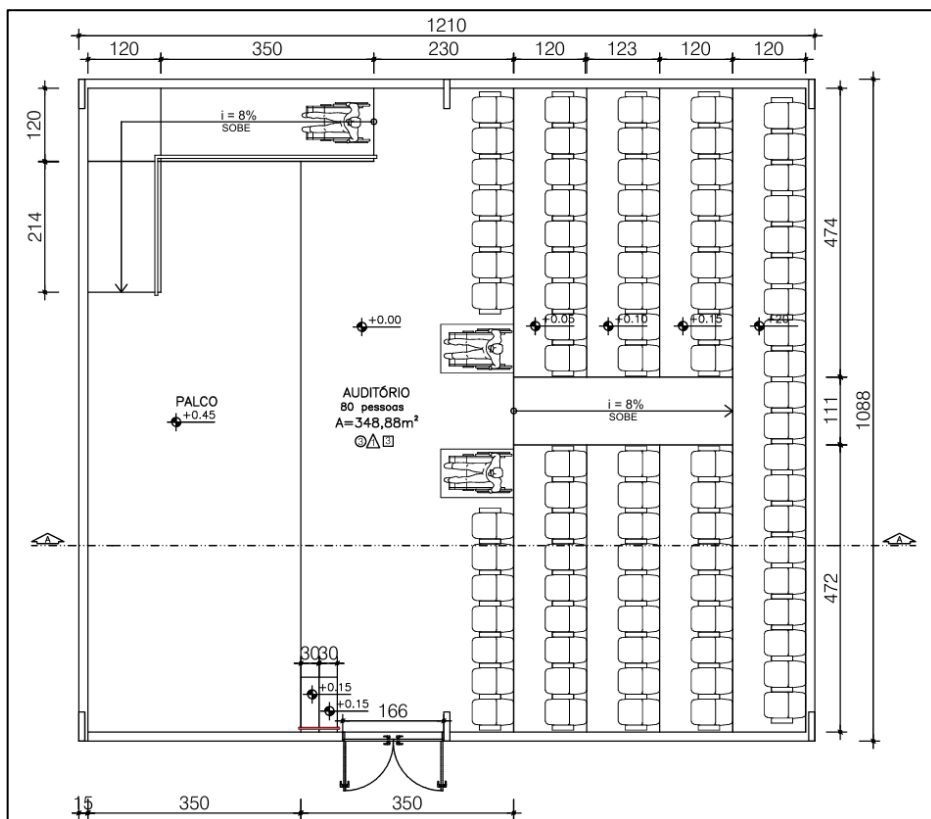
#### **3.2 DEFINIÇÃO E ADAPTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO**

O estudo foi aplicado à cobertura do auditório do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí (CTU–UESPI), originalmente projetada em estrutura metálica. Para fins deste trabalho, a cobertura foi adaptada para estrutura de madeira, mantendo-se as mesmas condições arquitetônicas do projeto original. Permaneceram inalteradas características como a inclinação do telhado, o pé-direito da edificação, a altura dos pilares, a disposição estrutural e a quantidade de apoios. A única modificação realizada foi a elevação da altura da platibanda, necessária para acomodar as tesouras de madeira, que exigem maior espaço vertical em relação às treliças metálicas.

As Figuras 31 e 32 mostram a planta baixa e o corte do projeto de arquitetura da edificação.

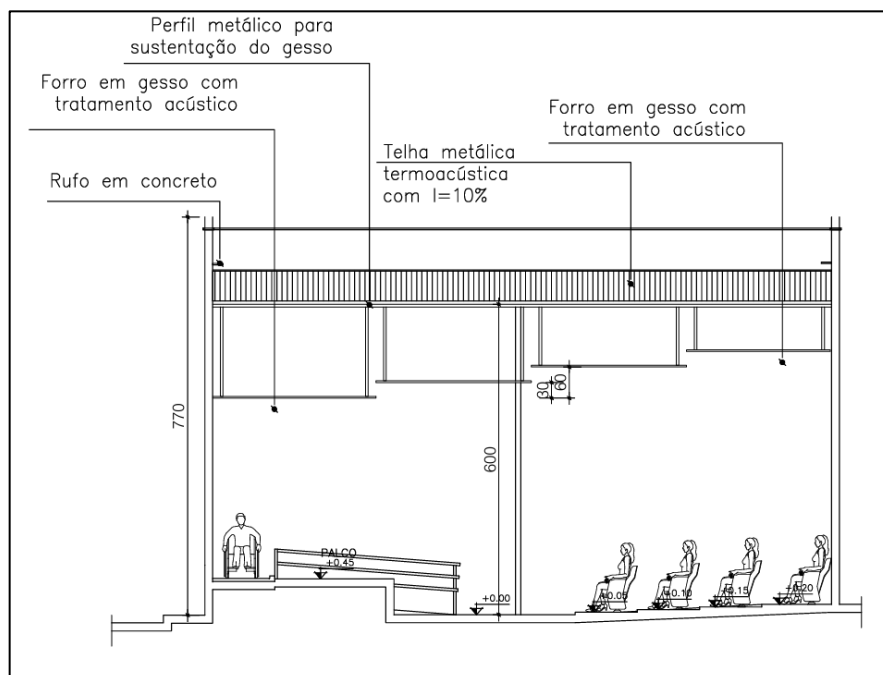


Figura 31 – Planta baixa da edificação (dimensões em centímetros)



Fonte: Projeto Arquitetônico do Auditório do CTU – CTU/UESPI (2024).

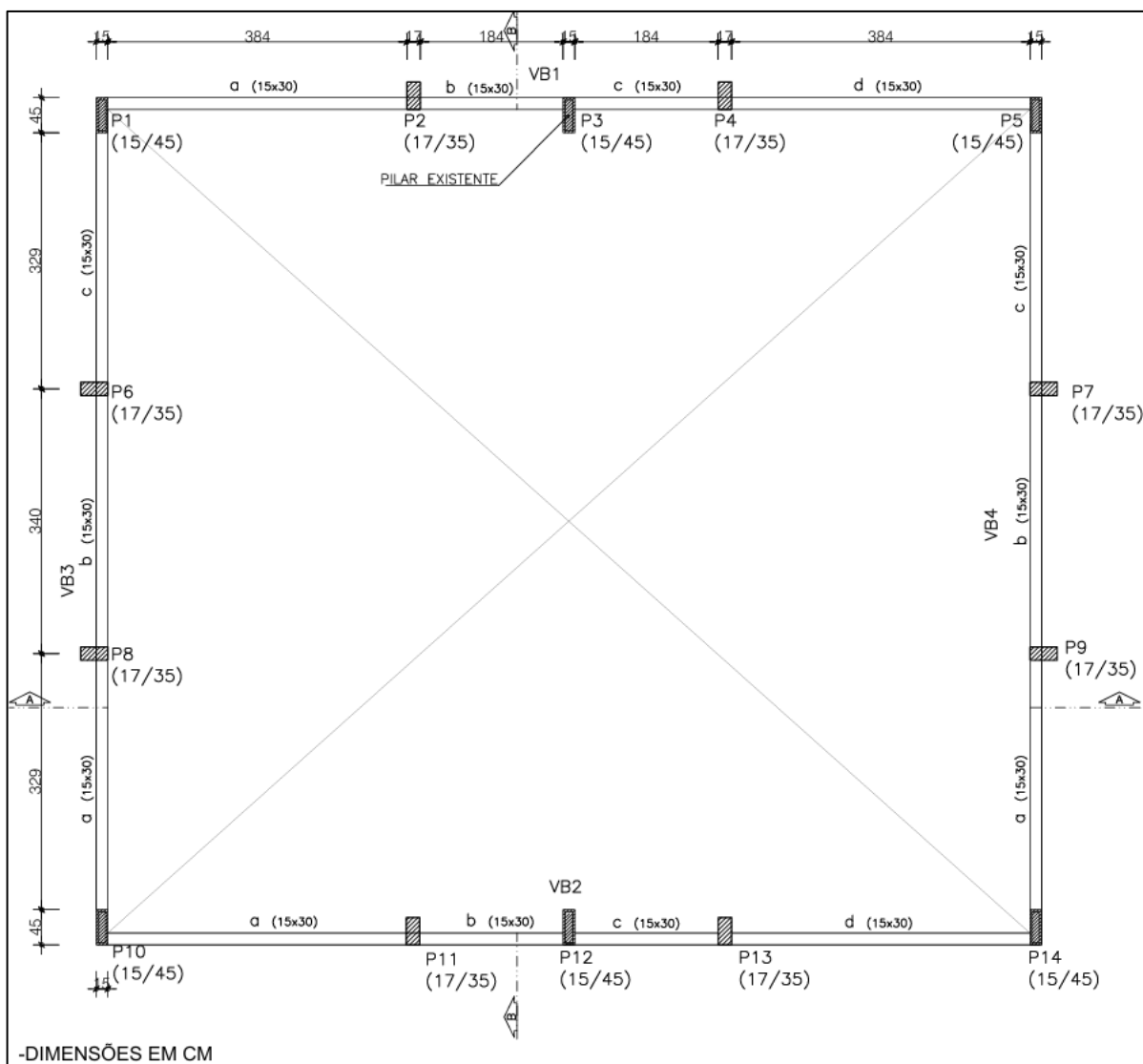
Figura 32 – Corte do projeto de arquitetura (dimensões em centímetros)



Fonte: Projeto Arquitetônico do Auditório do CTU – CTU/UESPI (2024).

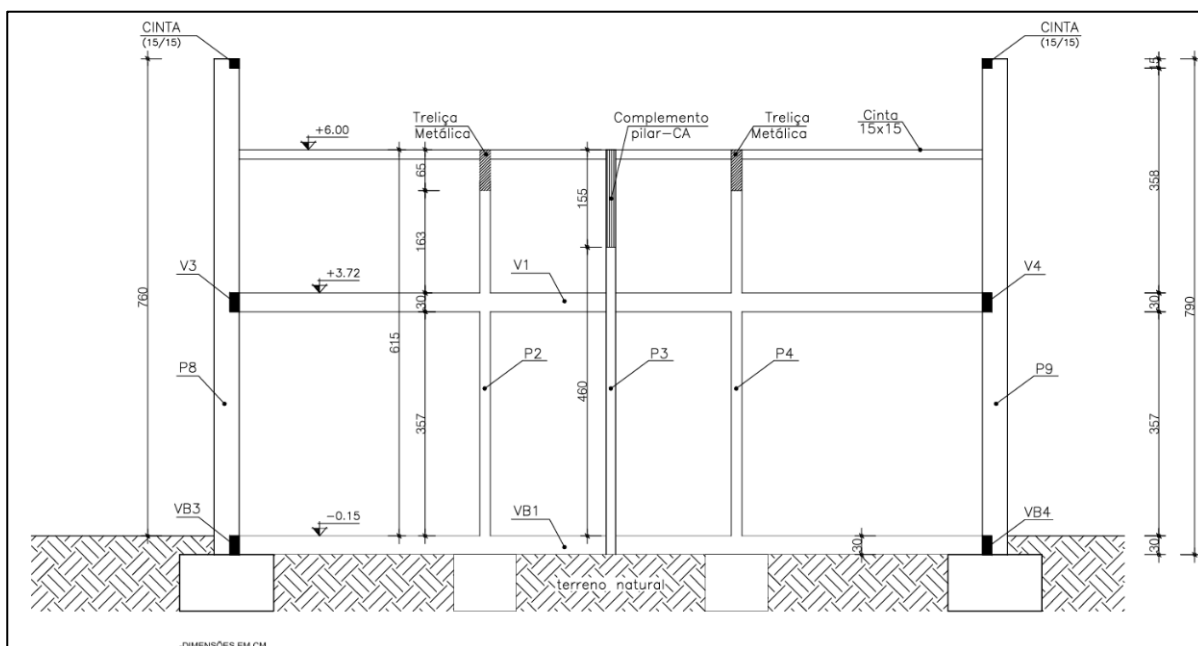
A Figura 33 mostra a planta de forma com a disposição dos pilares. As Figuras 34 e 35 mostram os cortes transversais do projeto estrutural da edificação.

Figura 33 – Planta de forma do baldrame



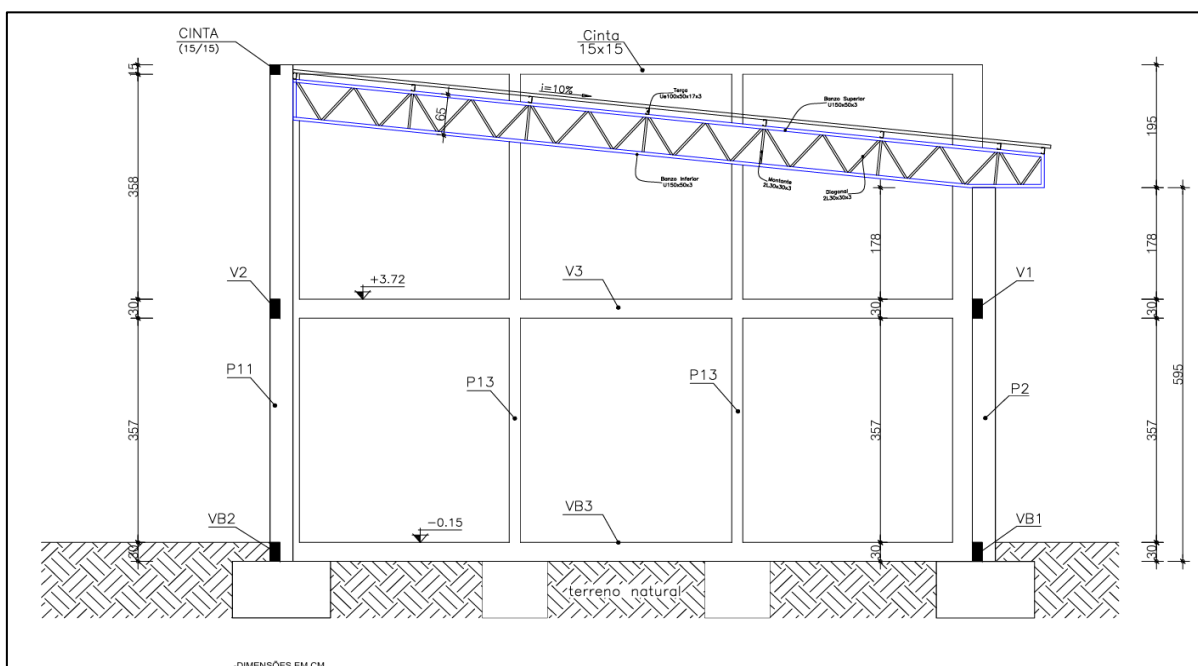
Fonte: Projeto Estrutural do Auditório do CTU – CTU/Uespi (2024).

Figura 34 – Corte AA



Fonte: Projeto Estrutural do Auditório do CTU – CTU/UESPI (2024).

Figura 35 – Corte BB



Fonte: Projeto Estrutural do Auditório do CTU – CTU/UESPI (2024).

Um ponto fundamental a ser destacado, é que o projeto estrutural original da cobertura do auditório do CTU–UESPI foi concebido utilizando estrutura metálica.

Embora a estrutura metálica seja uma solução eficiente e comum para coberturas de vãos consideráveis como a de um auditório, ela não se alinha diretamente ao escopo deste trabalho, que se concentra nas estruturas de madeira e na Norma NBR 7190. Portanto, para viabilizar a comparação normativa proposta, tornou-se necessária a adaptação do estudo de caso. Essa adaptação consiste em redesenhar a concepção estrutural da cobertura, substituindo a solução metálica original por uma solução equivalente em madeira.

O processo de adaptação buscará manter, na medida do possível, as características geométricas e funcionais da cobertura original, preservando a arquitetura e os vãos definidos no projeto inicial. A intenção não é criar um projeto completamente novo, mas sim traduzir a solução estrutural para o material madeira, permitindo assim a aplicação direta dos critérios de dimensionamento de ambas as versões da NBR 7190 (1997 e 2022) sobre um mesmo objeto de estudo, garantindo uma base comparativa consistente.

### **3.3 ANÁLISE DA ARQUITETURA E DOS CARREGAMENTOS PROVENIENTES DO PROJETO ESTRUTURAL**

A primeira etapa para a adaptação do estudo de caso consiste na definição precisa da geometria da cobertura e das cargas atuantes que serão consideradas no dimensionamento da estrutura de madeira. Estes dados são provenientes do projeto arquitetônico e estrutural original do auditório do CTU–UESPI.

Geometricamente, as características arquitetônicas são as seguintes:

- O telhado do auditório é do tipo uma água;
- Pé-direito: 6m;
- Altura total em relação ao terreno: 7,60m;
- Inclinação do telhado: 10%;
- Beiral: 67 cm;
- Dimensões em planta do auditório: 10,88m x 12,10m.

O projeto arquitetônico especifica o uso de forro de gesso e telhas termoacústicas. As cargas permanentes correspondentes a estes elementos, já consideradas no projeto estrutural original, serão mantidas para o dimensionamento da estrutura de madeira adaptada. Conforme levantamento e consulta às normas pertinentes, as cargas permanentes (além do peso próprio da estrutura, que será definido no item 3.6) e a sobrecarga de utilização são:

- Peso próprio da Telha Termoacústica: Utilizando telhas tipo sanduíche Kingspan de 30mm, o peso é de aproximadamente  $9,69 \text{ kg/m}^2$ , que corresponde a uma carga distribuída de  $0,10 \text{ kN/m}^2$ .
- Peso próprio do Forro de Gesso: Conforme recomendações da NBR 6120:2019 (Ações para o cálculo de estruturas de edificações), adota-se uma carga de  $0,25 \text{ kN/m}^2$  para forro de gesso acartonado.
- Sobrecarga de Utilização: Para coberturas com inclinação igual ou superior a 3% (neste caso, 10%), a NBR 7190:2022 e a NBR 6120:2019 estabelece um valor mínimo de  $0,25 \text{ kN/m}^2$  para a sobrecarga de utilização, referente a eventuais cargas acidentais ou de manutenção.

As ações devidas ao vento também foram consideradas no projeto estrutural original da cobertura metálica, elaborado com base na NBR 6123:2023 (Forças devidas ao vento em edificações). Como as características arquitetônicas da cobertura (geometria, inclinação e dimensões) permanecem as mesmas na adaptação para estrutura de madeira, os esforços de vento também serão mantidos.

O valor adotado para a carga de vento já foi previamente definido no projeto estrutural original, correspondendo a um esforço de sucção no telhado de  $1,83 \text{ kN/m}$  por treliça, considerado como a situação mais crítica. Esse valor será utilizado no dimensionamento da estrutura de madeira, assegurando consistência na comparação entre as soluções estruturais adotadas.

### **3.4 DEFINIÇÃO DO SISTEMA ESTRUTURAL EM MADEIRA**

O sistema adotado consiste em terças de cobertura apoiadas sobre a tesoura de madeira, que por sua vez transferem os esforços para os apoios principais

localizados nas extremidades da cobertura. A estrutura foi projetada para cobrir um vão principal de 10,88 m, com inclinação de 10%, mantendo a tipologia de cobertura de uma água.

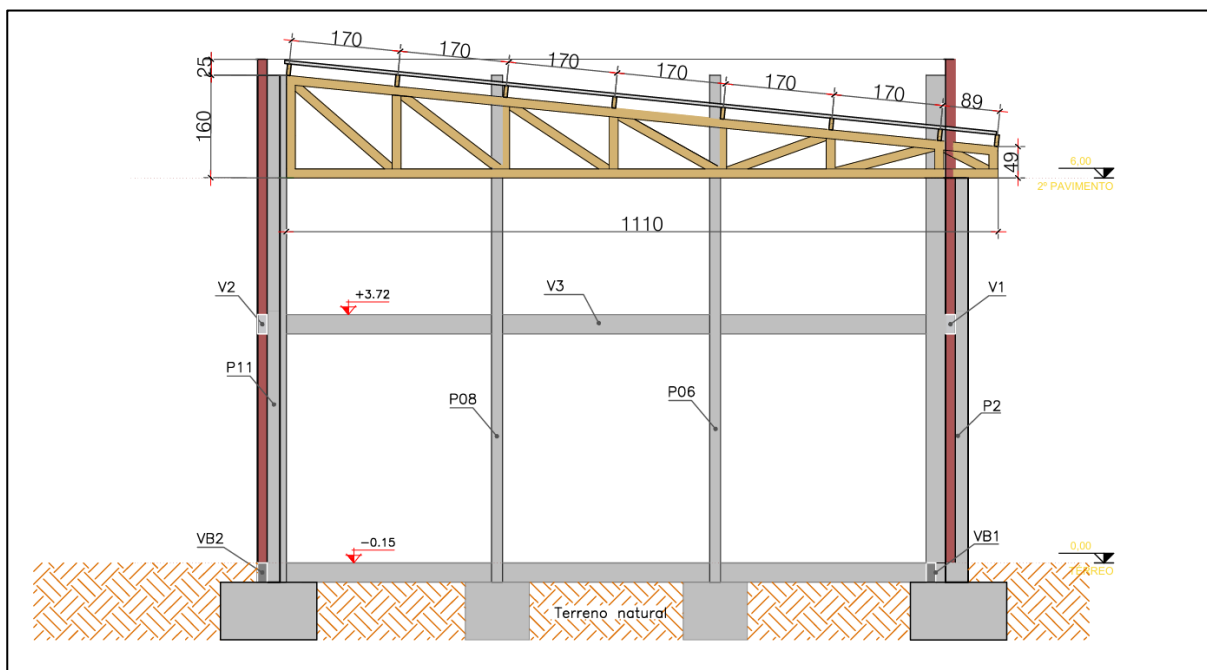
A tesoura de madeira adotada apresenta geometria assimétrica, com 1,60 m de altura na extremidade mais elevada e 0,49 m na extremidade mais baixa, conforme o caimento do telhado. Seu comprimento horizontal total é de 11,10 metros, compatível com a largura da edificação, e ela foi dimensionada para sustentar as terças ao longo do seu comprimento.

As terças de cobertura possuem 11,85 m de comprimento, cobrindo o vão longitudinal do auditório. Elas são responsáveis por receber diretamente as cargas da cobertura (permanentes, sobrecarga e ação do vento) e transferi-las para a tesoura.

Durante a análise estrutural, identificou-se que a disposição dos esforços nas diagonais da tesoura seria mais eficiente se todos os elementos trabalhassem sob o mesmo tipo de esforço interno (tração ou compressão). Para isso, foi necessário que as diagonais da tesoura fossem dispostas em direções diferentes, resultando em um arranjo geométrico assimétrico. Essa configuração foi adotada por razões técnicas, visando à eficiência estrutural e ao melhor desempenho do sistema. A Figura 36 apresenta a geometria e o sistema estrutural adotados na tesoura de madeira utilizada no estudo de caso.

O espaçamento entre as terças da cobertura foi definido em 1,70 m de eixo a eixo, seguindo os critérios geométricos adotados para o projeto da estrutura de madeira. A terça de extremidade ficou com espaçamento – eixo a eixo – de 0,89 m.

Figura 36 – Geometria e esquema da tesoura de madeira utilizada no estudo de caso (dimensões em centímetros).



Fonte: Autor.

### 3.5 DEFINIÇÃO DA MADEIRA: ESPÉCIE, PROPRIEDADES MECÂNICAS E SEÇÕES COMERCIAIS DISPONÍVEIS LOCALMENTE

A seleção da madeira adequada para o dimensionamento estrutural envolve a análise da disponibilidade local de espécies e das seções comerciais oferecidas. Para este estudo de caso, foi realizada uma consulta em madeireiras na cidade de Teresina-PI, a fim de verificar as espécies mais comuns e suas características.

Verificou-se que as principais madeiras comercializadas na região são a Maçaranduba (*Manilkara sp.*) e a denominada “Mista”. A madeira “Mista” frequentemente agrupa diferentes espécies, o que pode levar a uma imprecisão quanto às suas propriedades mecânicas e de durabilidade. Diante disso, e considerando a necessidade de parâmetros confiáveis para o dimensionamento estrutural conforme a NBR 7190, optou-se pela utilização da Maçaranduba para o projeto da cobertura do auditório.

A Maçaranduba é reconhecida por suas excelentes características, como alta resistência mecânica e elevada durabilidade natural, sendo bastante resistente ao

ataque de organismos xilófagos (como cupins e fungos de apodrecimento). Essas propriedades a tornam uma escolha robusta e adequada para elementos estruturais.

Na versão de 1997, as propriedades mecânicas da Maçaranduba estão disponíveis no Anexo E, especificamente nas Tabela E.2 – Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento. Essa tabela apresenta valores médios para as propriedades mecânicas das espécies de madeira. As propriedades são:

- Densidade aparente a 12% de umidade ( $\rho_{ap}$ ): 1143 kg/m<sup>3</sup>
- Resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ): 82,9 MPa
- Resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t0}$ ): 138,5 MPa
- Resistência à tração perpendicular às fibras ( $f_{t90}$ ): 5,4 MPa
- Resistência ao cisalhamento ( $f_v$ ): 14,9 MPa
- Módulo de elasticidade longitudinal ( $E_{c0}$ ): 22733 MPa

Na versão de 2022 da NBR 7190, as propriedades mecânicas da Maçaranduba estão descritas na Tabela 2 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas, definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos. Nessa versão, a madeira foi classificada como pertencente à classe de resistência D60, apresentando os seguintes parâmetros:

- Densidade a 12% de umidade ( $\rho$ ): 1000 kg/m<sup>3</sup>
- Resistência característica à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}$ ): 60 MPa
- Resistência característica ao cisalhamento ( $f_{v0,k}$ ): 8 MPa
- Módulo de elasticidade médio ( $E_{c0,m}$ ): 19500 MPa

Esses valores foram utilizados nos procedimentos de dimensionamento conforme os critérios estabelecidos em cada versão da Norma, possibilitando a análise comparativa proposta neste estudo.

Além da definição da espécie e das propriedades mecânicas, é fundamental considerar as seções transversais que são comercialmente disponíveis na região, pois isso impacta diretamente a viabilidade e o custo do projeto. As seções comerciais de Maçaranduba disponíveis localmente, que serão consideradas como base para o dimensionamento, estão apresentadas na Tabela 1.



Tabela 1 – Seções comerciais disponíveis na cidade de Teresina-PI

Peça	Largura (cm)	Altura (cm)
Terça	6	13
Terça	6	14
Terça	6	18
Terça	10	20
Caibro	3	6
Caibro	3,5	6
Caibro	5	10
Ripa	1,5	4,5
Ripa	1,5	5,0
Frechal	6	6
Frechal	8	8

Fonte: Autor.

A escolha das seções transversais das terças foi feita com base nas dimensões comerciais disponíveis localmente, conforme apresentadas na Tabela 1. As barras que compõem a tesoura de madeira também serão dimensionadas a partir dessas mesmas seções, respeitando a disponibilidade real de mercado na região.

### 3.6 HIPÓTESES DE CARREGAMENTO, CARGAS ATUANTES E ESFORÇOS NA ESTRUTURA

Para o dimensionamento da cobertura em madeira, foram consideradas duas hipóteses principais de carregamento, representando as situações mais críticas possíveis durante o uso da estrutura:

- Hipótese 1: Carga permanente + Sobrecarga normativa
- Hipótese 2: Carga permanente (excluindo o forro) + Ação do vento (sucção)

A Hipótese 1 contempla as seguintes ações:

- Peso próprio da estrutura de madeira (terça + tesoura)
- Forro de gesso
- Telha termoacústica
- Sistema de contraventamento
- Sobrecarga normativa

A Hipótese 2 considera:

- Peso próprio da estrutura de madeira (terça + tesoura)
- Telha termoacústica
- Sistema de contraventamento
- Ação do vento (sucção), conforme definido no item 3.3 deste trabalho

A Hipótese 1 foi considerada devido ao fato de que a combinação da carga permanente com a sobrecarga normativa gera os esforços máximos nos banzos da treliça, tanto no banzo superior quanto no banzo inferior. Nessa situação, o banzo superior encontra-se comprimido, enquanto o banzo inferior está tracionado.

Já a Hipótese 2 foi adotada para representar uma condição em que a estrutura encontra-se mais leve, possibilitando a atuação da ação do vento com maior intensidade. Nessa situação, a treliça torna-se suscetível à inversão de esforços em seus elementos estruturais. A carga permanente relativa ao forro foi desconsiderada, pois, durante eventuais manutenções na edificação, este elemento pode estar temporariamente ausente. Assim, a análise considera a combinação da carga permanente parcial com a ação do vento de sucção, refletindo um cenário realista.

De acordo com D'Alambert (2018), a carga para o sistema de contraventamento corresponde a 0,05 kN/m<sup>2</sup>.

Para o dimensionamento dos elementos estruturais, será adotada a situação de carregamento mais crítica, ou seja, aquela que gerar os maiores esforços internos, garantindo a segurança estrutural em conformidade com as exigências da NBR 7190, nas versões de 1997 e 2022.

Para estimar o peso próprio da estrutura de madeira, adotou-se uma seção transversal de 6 cm × 18 cm tanto para a terça quanto para as barras da tesoura. As equações utilizadas para estimar o peso próprio desses elementos da cobertura são:

$$P_t = \frac{n^o * l * b * h * \rho}{100} \quad (\text{Eq. 79})$$

Em que:

$P_t$  é carga total da terça (kN);

$n^o$  é a quantidade de terças da cobertura (und);

$l$  é o comprimento/largura da terça (m);

b é a largura da seção transversal (m);

h é a altura da seção transversal (m);

$\rho$  é massa específica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$p_t = \frac{P_t}{c * l} \quad (\text{Eq. 80})$$

Em que:

$p_t$  é a carga distribuída da terça ( $\text{kN/m}^2$ );

$P_t$  é a carga total da terça (kN);

c é o comprimento da cobertura (m);

l é a largura da cobertura (m).

$$P_{tes} = \frac{n^o * c_t * b * h * \rho}{100} \quad (\text{Eq. 81})$$

Em que:

$P_{tes}$  é a carga total da tesoura (kN);

$n^o$  é quantidade de tesouras (und);

$c_t$  é o comprimento total da tesoura (m);

b é a largura da seção transversal da tesoura (m);

h é a altura da seção transversal da tesoura (m);

$\rho$  é massa específica da madeira ( $\text{kg/m}^3$ ).

$$p_{tes} = \frac{P_{tes}}{c_t * l_t} \quad (\text{Eq. 82})$$

Em que:

$p_{tes}$  é a carga distribuída da tesoura ( $\text{kN/m}^2$ );

$P_{tes}$  é a carga total da tesoura (kN);

$c_t$  é o comprimento horizontal da tesoura – 11,10m;

$l_t$  é a largura de influência da tesoura – 4m.

O dimensionamento das terças de cobertura será realizado considerando carga distribuída linear, com base na equação:

$$p_c = p * l \text{ (Eq. 83)}$$

Onde:

$p_c$  é a carga distribuída na terça (kN/m);

$p$  é a carga total da cobertura, desconsiderando o peso próprio da tesoura (kN/m<sup>2</sup>);

$l$  é a largura de influência da terça (m).

Para o dimensionamento das barras da tesoura, será adotado um modelo de cargas pontuais aplicadas nos nós da treliça, representando os pontos de apoio das terças. A carga pontual aplicada em cada nó é calculada pela expressão:

$$P = p * l_t * l \text{ (Eq. 84)}$$

Onde:

$P$  é a carga concentrada no nó da treliça (kN);

$p$  é a carga total da cobertura (kN/m<sup>2</sup>);

$l_t$  é a largura de influência da tesoura (m);

$l$  é a largura de influência da terça (m).

É importante destacar que a massa específica da madeira Maçaranduba difere entre as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, o que ocasiona pequenas variações nos valores das cargas permanentes consideradas em cada situação normativa, afetando levemente os resultados finais dos esforços atuantes.

As Tabelas 2 e 3 apresentam o carregamento total da cobertura de madeira, conforme cada versão da Norma, incluindo a sobrecarga normativa. Já as Tabelas 4 a 7 trazem a análise realizada para a situação mais desfavorável de projeto, também de acordo com cada versão normativa.

Tabela 2 – Carregamento da cobertura conforme a versão de 1997

CARREGAMENTO DA ESTRUTURA (COBERTURA)								
Componente da cobertura	Quantidade (und)	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m²)	Carga (kg)/m²	Carga Total (kg)	Carga Total (kN)	Carga total da cobertura (kN/m²)
Terça (Seção 6cm x 18cm)	8	11,85	11,95	141,61		1.170,25	11,70	0,08
Peso próprio da tesoura (Seções 6cm x 18cm)	2		44,41			1.096,43	10,96	0,25
Telha termo acústica 30mm - 2m (Kingspan)					9,69	1.372,20	13,72	0,10
Forro de gesso - NBR 6120:2019					25,00	3.540,25	35,40	0,25
Contraventamentos					5,00	708,05	7,08	0,05
Sobrecarga					25,00	3.540,25	35,40	0,25
Carga total							0,98	

Fonte: Autor

Tabela 3 – Carregamento da cobertura conforme a versão de 2022

CARREGAMENTO DA ESTRUTURA (COBERTURA)								
Componente da cobertura	Quantidade (und)	Largura (m)	Comprimento (m)	Área (m²)	Carga (kg)/m²	Carga Total (kg)	Carga Total (kN)	Carga total da cobertura (kN/m²)
Terça (Seção 6cm x 18cm)	8	11,85	11,95	141,61		1.023,84	10,24	0,07
Peso próprio da tesoura (Seções 6cm x 18cm)	2		44,41			959,26	9,59	0,22
Telha termo acústica 30mm - 2m (Kingspan)					9,69	1.372,20	13,72	0,10
Forro de gesso - NBR 6120:2019					25,00	3.540,25	35,40	0,25
Contraventamentos					5,00	708,05	7,08	0,05
Sobrecarga					25,00	3.540,25	35,40	0,25
Carga total							0,94	

Fonte: Autor.

Tabela 4 – Análise da carga para dimensionamento da terça de cobertura conforme a versão de 1997

ANÁLISE DA TERÇA		
Carga da cobertura	0,73	kN/m²
Carga de vento (sucção)	-1,83	kN/m
Área de influência da terça	1,70	m
<b>Hipótese 1 - Carga permanente + Sobrecarga</b>	<b>1,24</b>	<b>kN/m</b>
<b>Hipótese 2 - Vento + Carga permanente (-Forro) - Sobrecarga</b>	<b>-1,44</b>	<b>kN/m</b>

Fonte: Autor.

Tabela 5 – Análise da carga para dimensionamento da tesoura de madeira conforme a versão de 1997

ANÁLISE DA TRELIÇA		
Carga da cobertura	0,98	kN/m²
Carga de vento (sucção)	-1,83	kN/m
Área de influência da terça	1,70	m
Área de influência da tesoura	4,00	m
Carga de vento (pontual)	-3,11	kN
<b>Hipótese 1 - Carga permanente + Sobrecarga</b>	<b>6,64</b>	<b>kN</b>
<b>Hipótese 2 - Vento + Carga permanente (-Forro) - Sobrecarga</b>	<b>-0,13</b>	<b>kN</b>

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Análise da carga para dimensionamento da terço de cobertura conforme a versão de 2022

ANÁLISE DA TERÇA		
Carga da cobertura	0,72	kN/m <sup>2</sup>
Carga de vento (sucção)	-1,83	kN/m
Área de influência da terço	1,70	m
<b>Hipótese 1 - Carga permanente + Sobrecarga</b>	<b>1,22</b>	<b>kN/m</b>
<b>Hipótese 2 - Vento + Carga permanente (-Forro) - Sobrecarga</b>	<b>-1,46</b>	<b>kN/m</b>

Fonte: Autor.

Tabela 7 – Análise da carga para dimensionamento da tesoura de madeira conforme a versão de 2022

ANÁLISE DA TRELIÇA		
Carga da cobertura	0,94	kN/m <sup>2</sup>
Carga de vento (sucção)	-1,83	kN/m
Área de influência da terço	1,70	m
Área de influência da tesoura	4,00	m
Carga de vento (pontual)	-3,11	kN
<b>Hipótese 1 - Carga permanente + Sobrecarga</b>	<b>6,36</b>	<b>kN</b>
<b>Hipótese 2 - Vento + Carga permanente (-Forro) - Sobrecarga</b>	<b>-0,15</b>	<b>kN</b>

Fonte: Autor.

Na versão de 1997 da NBR 7190, a análise de carregamentos indicou que a hipótese 2 representou a situação mais desfavorável para o dimensionamento da terço, sendo esta a que resultou nos maiores esforços. Já para a tesoura, a hipótese 1 se mostrou a mais crítica, sendo a mais adequada para o dimensionamento das barras da treliça.

A versão de 2022 da Norma apresentou comportamento semelhante ao observado na versão anterior: a hipótese 2 continuou sendo a mais representativa para o dimensionamento da terço, enquanto a hipótese 1 permaneceu como a mais desfavorável para a tesoura.

É importante destacar que todas as hipóteses de carregamento foram analisadas no dimensionamento da estrutura de madeira. Isso se deve ao fato de que, quando o carregamento atua em sentido contrário ao considerado no projeto, pode ocorrer inversão dos esforços nas barras da tesoura, alterando os estados de tração

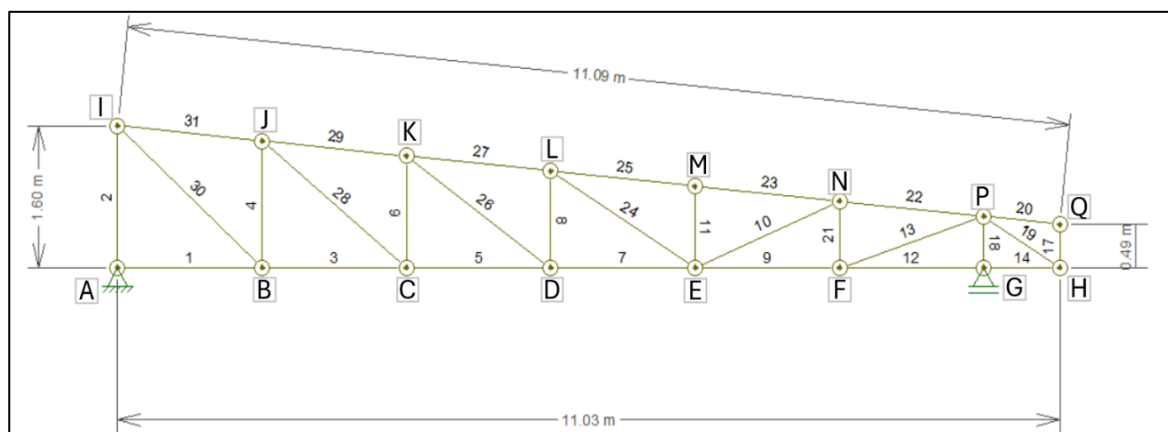
e compressão. Essa condição também foi verificada, assegurando a segurança estrutural da treliça em todas as situações possíveis de carregamento.

Como a estrutura analisada é uma treliça, todos os seus nós foram considerados articulados, permitindo a rotação livre das barras e, conseqüentemente, o comportamento axial dos elementos. Dessa forma, as barras da tesoura são consideradas biarticuladas.

Para a realização da análise estrutural da treliça de madeira, foi utilizado o software Ftool – desenvolvido pela PUC-Rio (Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro) – que permite a análise estrutural de estruturas lineares com cargas no plano da estrutura.

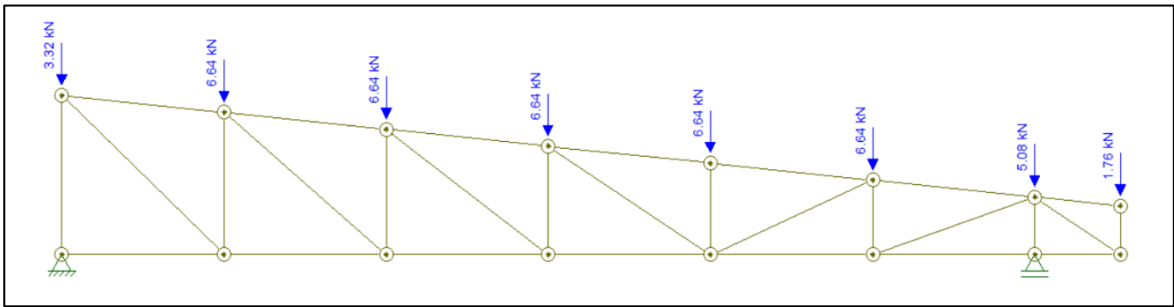
A Figura 37 ilustra a numeração das barras e dos nós da treliça. As Figuras 38 e 39 apresentam o lançamento das cargas na treliça para cada versão da Norma. Já as Figuras 40 e 41 exibem os esforços e as reações obtidas no software Ftool, com base em cada versão da Norma.

Figura 37 – Numeração dos nós e das barras da treliça



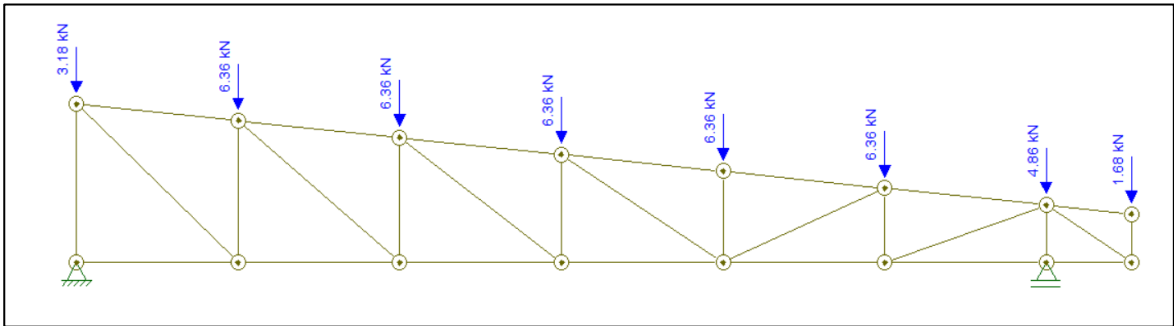
Fonte: Autor.

Figura 38 – Cargas da treliça (kN): versão de 1997



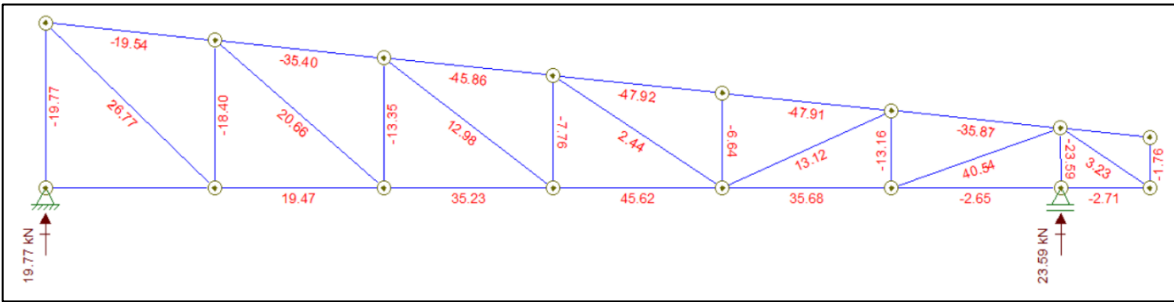
Fonte: Autor

Figura 39 – Cargas da treliça (kN): versão de 2022



Fonte: Autor.

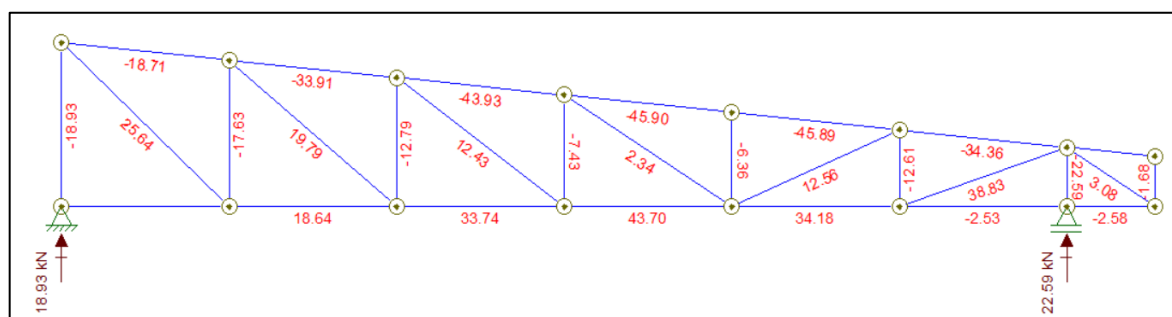
Figura 40 – Reações e esforços axiais (kN): versão de 1997



Fonte: Autor



Figura 41 – Reações e esforços axiais (kN): versão de 2022



Fonte: Autor

As cargas concentradas nos nós I, P e Q apresentam valores distintos em relação aos nós intermediários, devido às larguras de influência diferenciadas associadas a esses pontos. As larguras de influência para os nós I, P e Q são, respectivamente: 0,85 m, 1,30 m e 0,45 m.

O nó I, por estar localizado em uma extremidade, apresenta metade da largura de influência dos nós intermediários, o que resulta em uma carga igualmente reduzida à metade em comparação com estes. Já as cargas nos nós P e Q foram calculadas com base nas larguras de influência específicas, conforme os valores mencionados anteriormente.

Para o dimensionamento das barras tracionadas e comprimidas, será adotado o critério de verificação da barra mais solicitada, uma vez que esta representa a situação mais desfavorável para o projeto.

As Tabelas 8 e 9 apresentam a numeração, o comprimento das barras, os esforços característicos, os esforços de cálculo e o tipo de esforço solicitante das barras da treliça, conforme as duas versões da NBR 7190 analisadas neste trabalho.

Ressalta-se que as barras de número 15 e 16 não estão presentes, devido a uma falha na numeração automática realizada pelo software Ftool, que não reconheceu essas duas barras durante a modelagem. Assim, a numeração salta da barra 14 diretamente para a barra 17. Essa condição, no entanto, não afeta os resultados da análise estrutural, pois não houve perda de elementos — apenas uma falha na sequência de numeração. Optou-se por manter a numeração gerada pelo

software, uma vez que isso não ocasiona qualquer prejuízo ao dimensionamento realizado.

Tabela 8 – Dados das barras da tesoura: versão de 1997

<b>Numeração</b>	<b>Comprimento (cm)</b>	<b>Esforço característico (Nk)</b>	<b>Esforço de cálculo (Nd)</b>	<b>Tipo de esforço</b>
1	169	-	-	-
2	160	19,77	27,68	Compressão
3	169	19,47	27,26	Tração
4	143	18,40	25,76	Compressão
5	169	35,23	49,32	Tração
6	126	13,35	18,69	Compressão
7	169	45,62	63,87	Tração
8	109	7,76	10,86	Compressão
9	169	35,68	49,95	Tração
10	185	13,12	18,37	Tração
11	92	6,64	9,30	Compressão
12	169	2,65	3,71	Compressão
13	179	40,54	56,76	Tração
14	89	2,71	3,79	Compressão
17	49	1,76	2,46	Compressão
18	58	23,59	33,03	Compressão
19	106	3,23	4,52	Tração
20	89	-	-	-
21	75	13,16	18,42	Compressão
22	170	35,87	50,22	Compressão
23	170	47,91	67,07	Compressão
24	201	2,44	3,42	Tração
25	170	47,92	67,09	Compressão
26	211	12,98	18,17	Tração
27	170	45,86	64,20	Compressão
28	221	20,66	28,92	Tração
29	170	35,40	49,56	Compressão
30	233	26,77	37,48	Tração
31	170	19,54	27,36	Compressão

Fonte: Autor.

Tabela 9 – Dados das barras da tesoura: versão de 2022

Numeração	Comprimento (cm)	Esforço característico (Nk)	Esforço de cálculo (Nd)	Tipo de esforço
1	169	-	-	-
2	160	18,93	26,50	Compressão
3	169	18,64	26,10	Tração
4	143	17,63	24,68	Compressão
5	169	33,74	47,24	Tração
6	126	12,79	17,91	Compressão
7	169	43,70	61,18	Tração
8	109	7,43	10,40	Compressão
9	169	34,18	47,85	Tração
10	185	12,56	17,58	Tração
11	92	6,36	8,90	Compressão
12	169	2,53	3,54	Compressão
13	179	38,83	54,36	Tração
14	89	2,58	3,61	Compressão
17	49	1,68	2,35	Compressão
18	58	22,59	31,63	Compressão
19	106	3,08	4,31	Tração
20	89	-	-	-
21	75	12,61	17,65	Compressão
22	170	33,60	47,04	Compressão
23	170	34,36	48,10	Compressão
24	201	2,34	3,28	Tração
25	170	45,90	64,26	Compressão
26	211	12,43	17,40	Tração
27	170	43,93	61,50	Compressão
28	221	19,79	27,71	Tração
29	170	33,91	47,47	Compressão
30	233	25,64	35,90	Tração
31	170	18,71	26,19	Compressão

Fonte: Autor.

### 3.7 PROCEDIMENTOS DE DIMENSIONAMENTO

Esta seção apresenta os critérios de dimensionamento adotados e reúne as equações aplicadas no desenvolvimento do projeto. A maior parte dessas equações já foi descrita anteriormente no item 2.4, sendo aqui organizadas conforme sua aplicação prática. Adicionalmente, são incluídas algumas equações complementares

não abordadas anteriormente. Os resultados obtidos por meio dessas equações estão apresentados no Anexo I – Memorial de Cálculo.

Para cada versão da Norma analisada, aplicaram-se as respectivas fórmulas e verificações de estados limites últimos e de serviço, conforme detalhado nos itens a seguir.

O dimensionamento da estrutura de madeira foi realizado por meio de planilhas no *Microsoft Excel*. Essa escolha se justifica pela ampla utilização de planilhas no cálculo de estruturas de madeira no Brasil, considerando a limitada disponibilidade de softwares nacionais específicos para esse tipo de dimensionamento, sendo as soluções existentes de origem estrangeira. Optou-se pelo *Excel* por sua acessibilidade, familiaridade entre profissionais da área e adequação às necessidades do projeto.

O detalhamento da estrutura foi feito utilizando os softwares *Revit* e *AutoCad*. O detalhamento do projeto estrutural da cobertura está presente no Anexo III, conforme cada versão da Norma.

Para o projeto, a ordem de dimensionamento da estrutura foi a seguinte:

- Terças
- Barras comprimidas (tesoura)
- Barras tracionadas (tesoura)
- Contraventamentos

Este trabalho não contempla o dimensionamento das ligações, uma vez que o foco da análise está nos elementos estruturais de madeira que compõem a cobertura — especificamente as terças e a tesoura. O objetivo é estimar as seções comerciais obtidas a partir do dimensionamento conforme as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, visando avaliar os impactos técnicos e econômicos das alterações normativas. As ligações, usualmente constituídas por elementos metálicos, não foram objeto de verificação, por não se enquadrarem no escopo do presente trabalho.

Adicionalmente, cabe ressaltar que não foi adotado o critério de uniformização das seções transversais de todas as barras da tesoura de madeira. O dimensionamento foi realizado com base na verificação da barra submetida ao maior

esforço axial de cada tipo (tração e compressão), conforme descrito no item 3.6, sem a padronização das seções para os demais elementos da estrutura. Essa escolha está diretamente relacionada ao fato de que as ligações não foram analisadas neste trabalho. Caso fossem consideradas, especialmente com o uso de chapas metálicas para a conexão entre banzos e diagonais, seria recomendável a uniformização das seções entre as barras conectadas, a fim de facilitar a execução, melhorar o ajuste e evitar problemas técnicos na montagem das ligações. Assim, como o escopo do estudo se restringe ao dimensionamento dos elementos de madeira, optou-se por não uniformizar as seções transversais das barras da tesoura.

#### *3.7.1 Coeficiente de modificação ( $k_{mod}$ ) utilizado para o projeto*

Para a determinação do fator  $k_{mod1}$  em ambas as versões da Norma, adotou-se a classe de carregamento do tipo permanente, uma vez que a maior parte das cargas atuantes é composta por cargas permanentes. O valor do coeficiente, nas duas versões da Norma, é de 0,6. Quanto ao fator  $k_{mod2}$ , em ambas as versões a classe de umidade correspondente é a 2, a qual se refere às condições climáticas de Teresina-PI. Nesta classe, o valor adotado é de 1,0 na versão de 1997 e 0,9 na versão de 2022.

Adicionalmente, a versão de 1997 exige a aplicação do fator  $k_{mod3}$ , o qual foi definido como 0,8 neste projeto, considerando-se o uso de madeira de segunda categoria.

Utilizando Eq.3 e Eq. 8, o fator  $k_{mod}$  de projeto foi definido como 0,48 na versão de 1997 e 0,54 na versão de 2022.

#### *3.7.2 Terças*

Os apoios internos da terça são as duas tesouras que compõem a cobertura, enquanto os apoios extremos correspondem à platibanda da edificação. Nessa configuração, a terça se comportaria como uma viga contínua. No entanto, para o presente trabalho, optou-se por considerá-la como biapoiada, com as tesouras servindo de apoio. Essa escolha foi adotada por representar uma situação mais desfavorável do ponto de vista estrutural, uma vez que o momento fletor máximo em

vigas biapoiadas é superior ao das vigas contínuas. Também foi adotado esse critério considerando os comprimentos reais das peças da estrutura. Assim, essa opção contribui para uma abordagem mais conservadora, em favor da segurança.

Para a determinação dos esforços atuantes na terça, deve-se levar em consideração que este elemento está sujeito à flexão simples oblíqua, o que predispõem uma carga no eixo x e outra no eixo y.

Para a determinação das cargas atuantes nos dois eixos principais, seguiu-se as seguintes equações:

$$p_x = p * \sin(\theta) \text{ (Eq. 85)} ; p_y = p * \cos(\theta) \text{ (Eq. 86)}$$

Onde:

$p_x$  é a carga atuante no eixo x (kN/m);

$p_y$  é a carga atuante no eixo y (kN/m);

$p$  é a carga total da cobertura, desconsiderando o peso próprio da tesoura (kN/m<sup>2</sup>);

$\theta$  é o ângulo referente à inclinação do telhado.

Para a determinação dos esforços característicos máximos em vigas biapoiadas, as equações são:

$$M_k = \left( \frac{q * l^2}{8} \right) * 100 \text{ (Eq. 87)} ; V_k = \left( \frac{q * l}{2} \right) * 100 \text{ (Eq. 88)}$$

Onde:

$M_k$  é o momento fletor máximo característico no eixo analisado (kN.cm);

$V_k$  é o cortante máximo característico no eixo analisado (kN);

$q$  é a carga da terça no referido eixo (kN/m);

$l$  é o vão da terça (m);

Os esforços atuantes são característicos, sendo necessário transformar em esforços de cálculo. Para transformar, as equações são:

$$M_d = M_k * y_f \text{ (Eq. 89)} ; V_d = V_k * y_f \text{ (Eq. 90)}$$

Onde:

$M_d$  o momento fletor de cálculo no eixo analisado (kN.cm);

$M_k$  o momento fletor característico no eixo analisado (kN.cm);

$V_d$  o cortante de cálculo no referido eixo (kN);

$V_k$  o cortante característico no referido eixo (kN);

$\gamma_f$  coeficiente de majoração de cargas.

Com os esforços de cálculo determinados, foram realizadas as verificações dos Estados Limites Últimos (ELU) conforme estabelecido pela Norma. As verificações seguiram a seguinte ordem, em ambas as versões da norma:

- Flexão simples oblíqua;
- Compressão perpendicular às fibras;
- Cisalhamento;
- Estabilidade lateral (flambagem).

As equações utilizadas nas verificações são: (Eq.1), (Eq.2), (Eq.4), (Eq.6), (Eq.7), (Eq.10), (Eq.11), (Eq.15), (Eq.16), (Eq.17), (Eq.20), (Eq.21), (Eq.22), (Eq.23), (Eq.32), (Eq.34), (Eq.36), (Eq.46), (Eq.47), (Eq.59) e (Eq.60).

Todas as equações já foram descritas no item 2.4 deste trabalho.

Para o Estado limite de serviço (ELS), referente à flecha, foi adotado um limite de  $l/200$ . A flecha máxima para cargas uniformemente distribuídas é dada pela seguinte expressão:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5 * p * l^4}{384 * E * I} \quad (\text{Eq. 91})$$

Em que:

$\delta_{m\acute{a}x}$  é flecha máxima da terça (cm);

$p$  é a carga no referido eixo (kN/cm);

$l$  é o comprimento equivalente da terça (cm);

$E$  é o módulo de elasticidade da madeira, na qual a versão de 1997 é utilizado o  $E_{c0,ef}$  e na versão de 2022 é adotado o  $E_{c0,med}$  (kN/cm<sup>2</sup>);

$I$  é a inércia no referido eixo calculado ( $\text{cm}^4$ ).

A flecha final da terça é calculada levando em consideração o coeficiente de fluência. Para este projeto, foi adotado o coeficiente  $\phi=0,8$  em ambas as versões – conforme recomendação nas duas versões da Norma. A flecha final da terça deve ser menor que a flecha limite já definida anteriormente.

A verificação final é baseada na seguinte condição:

$$\delta_{final} \leq \delta_{lim} \text{ onde: } \delta_{final} = \delta_{m\acute{a}x} * (1 + \phi) \text{ (Eq. 92)}$$

Ambas as versões da Norma permitem a utilização de contraflechas na construção da estrutura. O valor limite para a utilização de contraflechas, em ambas as normas, é definido por:

$$\delta_{camber} \leq \frac{2}{3} * \delta_g \text{ (Eq. 93)}$$

Onde  $\delta_{camber}$  é calculado pela mesma expressão da  $\delta_{m\acute{a}x}$  e  $\delta_g$  se refere a flecha máxima devido à ação das cargas permanentes da cobertura.

No caso das terças, adota-se a carga distribuída linearmente ao longo do eixo analisado.

$$g_t = \frac{g * d}{100} \text{ (Eq. 94)}$$

Em que:

$g_t$  é carga da terça, no referido eixo verificado ( $\text{kN/cm}$ );

$g$  é a carga permanente da cobertura ( $\text{kN/m}^2$ );

$d$  é a largura de influência da terça ( $\text{m}$ ).

### 3.7.3 Barras comprimidas (tesoura)

Para o dimensionamento das barras comprimidas, foi considerada a barra com o maior esforço axial, conforme já mencionado no item 3.6.

O dimensionamento levou em conta as seguintes verificações: esbeltez da barra, esbeltez relativa (exclusiva da versão de 2022), critérios de resistência e critérios de estabilidade.



As equações utilizadas foram: (Eq.1), (Eq.2), (Eq.4), (Eq.5), (Eq.6), (Eq.7), (Eq.14), (Eq.28), (Eq.30), (Eq.38), (Eq.39), (Eq.40), (Eq.41), (Eq.42), (Eq.43), (Eq. 44), (Eq.49), (Eq.50), (Eq.51), (Eq.52), (Eq.53), (Eq.54), (Eq.55), (Eq.56), (Eq.57) e (Eq.58).

Todas as equações utilizadas em ambas as versões da Norma já foram apresentadas no item 2.4.

### *3.7.4 Barras tracionadas (tesoura)*

O dimensionamento das barras tracionadas segue o mesmo critério adotado para as barras comprimidas: considera-se a barra mais solicitada axialmente.

Para as barras tracionadas, são verificados apenas os critérios de esbeltez e resistência. Na verificação de resistência, deve-se levar em consideração a área líquida da seção transversal.

As equações utilizadas seguem a seguinte numeração: (Eq.1), (Eq.2), (Eq.3), (Eq.12), (Eq.24), (Eq.26), (Eq.38), (Eq.49) e (Eq.50). Estas já foram descritas no item 2.4. do presente trabalho.

Para a verificação de resistência à tração, é necessário considerar a área líquida da seção transversal, que leva em conta os descontos provocados por furos, geralmente destinados a conectores metálicos.

Este estudo não contempla o dimensionamento das ligações. No entanto, para fins de verificação da área líquida, considerou-se o uso de parafusos com 25 mm (1") de diâmetro, submetidos a duplo cisalhamento (corte duplo). Essa escolha foi considerada adequada, uma vez que o objetivo é apenas possibilitar a estimativa da área líquida para realização dos cálculos.

O diâmetro de 25 mm foi adotado por ser significativamente maior do que os de parafusos com diâmetros menores – como 10 mm (3/8"), 12,7 mm (1/2"), 16 mm (5/8") e 20 mm (3/4") – o que favorece a segurança estrutural, pois resulta em uma maior redução da área líquida e, portanto, em uma situação mais conservadora para as análises.

A equação utilizada na verificação da área líquida foi:

$$A_n = A_g - 2 * (d + 0,1cm) * b \text{ (Eq. 95)}$$

Onde:

$A_n$  é a área líquida da seção transversal (cm<sup>2</sup>);

$A_g$  é a área bruta da seção transversal (cm<sup>2</sup>);

$d$  é o diâmetro do parafuso utilizado (cm);

$b$  é a largura da seção transversal (cm).

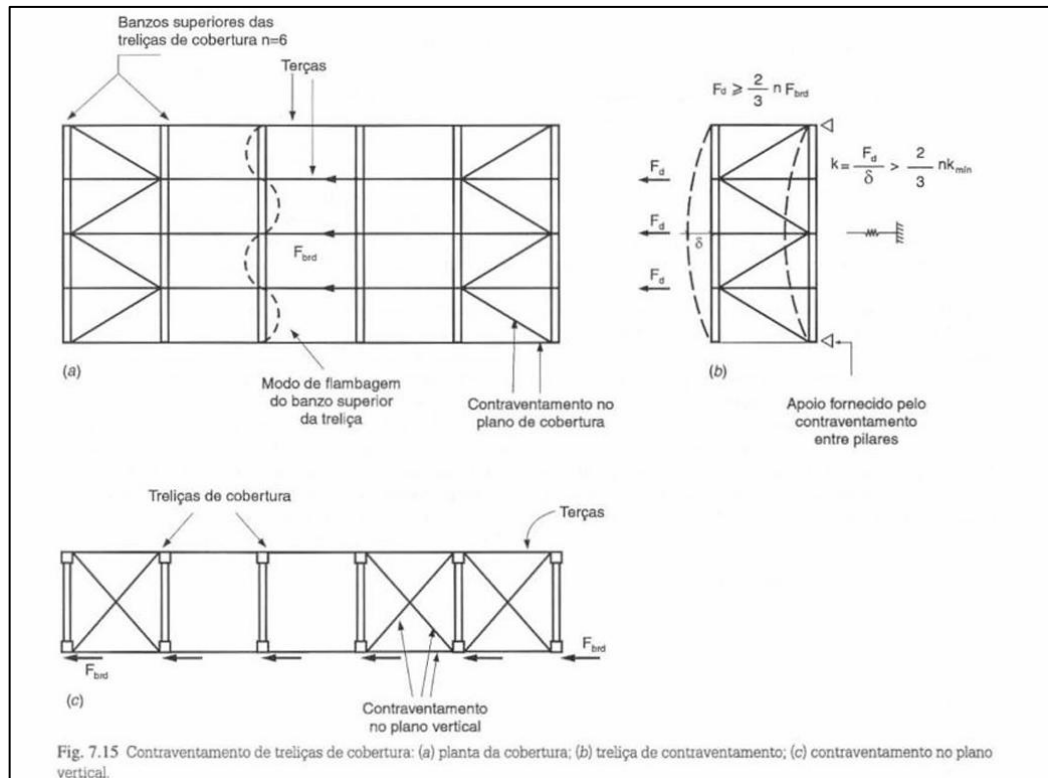
#### 3.7.4.1 Contraventamentos

Para garantir a estabilidade global da estrutura de cobertura em madeira projetada, serão adotados sistemas de contraventamento amplamente consolidados na prática da engenharia estrutural. Os modelos utilizados são comumente empregados tanto em estruturas de madeira quanto em estruturas metálicas, apresentando configurações geométricas e disposições de barras que favorecem o travamento adequado dos elementos estruturais, como tesouras e terças.

Segundo Pfeil (2003), os arranjos mais usuais de contraventamento para estruturas de madeira envolvem a disposição de barras inclinadas formando sistemas triangulados, especialmente de formato em “X”. Esse tipo de arranjo forma painéis diagonais que proporcionam rigidez aos planos estruturais, impedindo deslocamentos horizontais e torções excessivas. Esses sistemas, por sua simplicidade e eficiência, tornaram-se referência em projetos estruturais e são facilmente adaptáveis tanto para estruturas de madeira quanto metálicas. A própria Norma NBR 7190:2022 também apresenta um modelo semelhante de contraventamento para tesouras de madeira, reforçando a importância e a eficácia dessa solução na estabilidade de coberturas.

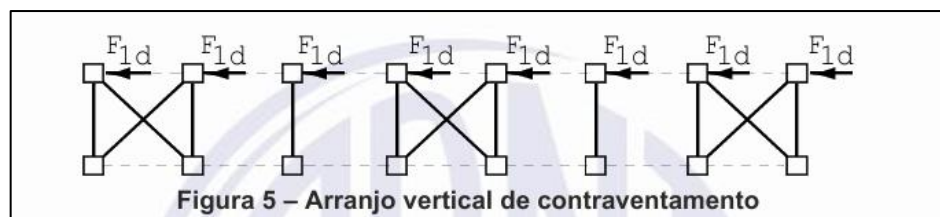
As Figuras 42 e 43 exibem os esquemas de contraventamentos comumente utilizados em coberturas metálicas e de madeira.

Figura 42 – Contraventamento de treliças de cobertura: (a) planta da cobertura; (b) treliça de contraventamento; (c) contraventamento no plano vertical



Fonte: PFEIL, WALTER; PFEIL, MICHÈLE. Estruturas de madeira. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

Figura 43 – Arranjo vertical de contraventamento, segundo a NBR 7190:2022



Fonte: ABNT NBR 7190:2022.

Neste projeto, serão utilizadas barras de contraventamento confeccionadas em aço SAE 1020, com diâmetro de 16 mm (5/8"). Esse tipo de aço é amplamente utilizado em sistemas de contraventamento devido à sua boa resistência à tração, ductilidade e excelente soldabilidade, características que o tornam especialmente

adequado para ligações com elementos de madeira, como chapas metálicas e parafusos.

Para a estimativa orçamentária, a adoção do diâmetro de 16 mm nos contraventamentos deve-se ao fato de que a base de preços utilizada no projeto considerava exclusivamente esse diâmetro. Assim, essa solução foi mantida no desenvolvimento deste trabalho, por permitir a adequada precificação dos elementos da cobertura.

### **3.8 ORÇAMENTO DA ESTRUTURA DE MADEIRA**

O orçamento desenvolvido neste trabalho refere-se exclusivamente à estrutura da cobertura, não incluindo elementos como telhas ou forros, uma vez que o foco da pesquisa está na análise do custo estrutural.

Inicialmente, foi realizada uma consulta à base do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), entretanto, não foram encontrados insumos compatíveis com os elementos adotados no projeto, especialmente no que se refere às seções comerciais de madeira utilizadas. Dessa forma, optou-se por não utilizar essa base de dados no orçamento final.

Para a elaboração do orçamento, adotou-se uma metodologia mista, combinando dados do ORSE (Orçamento de Obras de Sergipe) – utilizado especificamente para estimar os custos relacionados aos contraventamentos metálicos presentes na estrutura – e de levantamento de preços locais.

No caso da estrutura de madeira, constatou-se que tanto o SINAPI quanto o ORSE não apresentam insumos compatíveis com as seções comerciais utilizadas no projeto. As bases contêm apenas itens genéricos de madeira serrada, com dimensões distintas daquelas adotadas no dimensionamento da estrutura. Assim, optou-se por realizar uma pesquisa de preços em madeireiras locais, visando estimar o custo com base nas seções efetivamente utilizadas no projeto. Adotou-se o preço médio da seção utilizada, com base no valor por metro linear praticado pelas fornecedoras do material. Essa abordagem foi necessária para garantir que o orçamento refletisse com fidelidade as condições comerciais e técnicas do contexto regional.

Portanto, o orçamento da estrutura de cobertura foi estruturado a partir de uma combinação entre dados padronizados (ORSE) e valores obtidos por pesquisa direta de mercado, assegurando maior precisão e adequação à realidade do projeto, especialmente quanto à disponibilidade de materiais e às características específicas da estrutura adotada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 COMPARAÇÃO TEÓRICA ENTRE A NBR 7190:1997 E A NBR 7190:2022 – CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Este item tem por objetivo apresentar uma análise teórica comparativa entre as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, destacando suas principais diferenças normativas com foco exclusivo nos critérios de dimensionamento. A comparação é realizada com base na organização da norma, nos parâmetros utilizados e nas equações de dimensionamento, evidenciando as mudanças conceituais e numéricas que impactam os projetos de estruturas de madeira.

A estrutura deste tópico segue a mesma organização adotada no item 2.4, o qual apresenta as equações, parâmetros e tabelas normativas essenciais. Dessa forma, busca-se facilitar a correlação entre os aspectos teóricos e a análise crítica desenvolvida, promovendo uma compreensão sequencial e comparativa das alterações introduzidas pela atual versão da norma.

#### *4.1.1 Classificação e propriedades da madeira*

A versão de 1997 da NBR 7190 trata as propriedades da madeira a partir da condição padrão de umidade de 12%, conhecida como classe 1 de umidade. A Norma considera essa classe como referência para determinação das propriedades mecânicas e físicas dos elementos estruturais de madeira. Os valores de resistência e rigidez obtidos em ensaios com teores de umidade entre 10% e 20% devem ser corrigidos para essa condição padrão. A Norma ainda admite como desprezível a influência da temperatura entre 10 °C e 60 °C no comportamento da madeira.

É permitido a caracterização simplificada das resistências a partir dos ensaios de compressão paralela às fibras. Para as resistências a esforços normais, é admitido um coeficiente de variação de 18% e para as resistências a esforços tangenciais um coeficiente de variação de 28%.

As propriedades mecânicas, como resistência à compressão, tração, cisalhamento e módulos de elasticidade, são fornecidas pela própria versão da Norma

para diversas espécies de madeiras brasileiras, divididas entre coníferas e dicotiledôneas, tanto em valores médios quanto em relações características.

No que diz respeito à caracterização da rigidez, a edição de 1997 da Norma estabelece que o módulo de elasticidade pode ser determinado por ensaio de compressão paralela às fibras ou, alternativamente, por ensaio de flexão, caso o ensaio de compressão não seja possível. As relações entre os módulos determinados por esses ensaios são indicadas conforme o tipo de madeira.

A versão de 1997 também trata de forma detalhada as classes de resistência da madeira, permitindo a padronização do uso dos materiais em projetos estruturais.

Já a versão de 2022 da NBR 7190 também considera como referência a classe 1 de umidade, com teor de equilíbrio de 12%, e exige que resultados de ensaios entre 10% e 25% de umidade sejam corrigidos para essa condição. No entanto, essa versão deixa de apresentar valores médios de propriedades para espécies brasileiras, como era feito anteriormente. Em vez disso, as propriedades da madeira são definidas por meio de classes de resistência, obtidas de acordo com o tipo de ensaio realizado: ensaio em corpos de prova isentos de defeitos, conforme a Tabela 2, ou ensaio em peças estruturais com defeitos naturais, conforme a Tabela 3. Assim, a nova norma estabelece um sistema mais técnico e sistemático de classificação da madeira, orientando o uso com base em condições práticas e laboratoriais distintas.

O fator  $k_{mod3}$ , presente na versão de 1997 e relacionado à categoria da madeira, não é mais especificado, sendo presumivelmente incorporado nas demais variáveis de ajuste. Isso simplifica o uso do coeficiente de modificação, embora exija um controle mais rigoroso dos ensaios para classificação da madeira.

A versão de 1997 adota uma abordagem baseada em espécies e fornece valores médios tabelados diretamente na norma, enquanto a versão de 2022 se baseia inteiramente em classes de resistência definidas por meio de ensaios, sem apresentar valores médios específicos para espécies nativas. Ambas as versões mantêm a consistência em relação ao uso da classe de umidade como referência e à forma de cálculo dos valores de projeto, mas diferem significativamente na forma de caracterizar e classificar a madeira e nos coeficientes de modificação utilizados para ajustar as propriedades resistentes.

A Tabela 10 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto às propriedades da madeira.

Tabela 10 – Comparativo sobre as propriedades da madeira

Aspecto	Versão 1997	Versão 2022
Umidade padrão	12% (classe 1)	12% (classe 1)
Classificação das madeiras	Por espécie (valores médios) e classe de resistência (Tabelas 8 e 9)	Apenas por classe de resistência (Tabela 2 / Tabela 3)
Uso de valores médios	Sim – fornecidos pela norma para espécies brasileiras	Não – apenas por classe de resistência
Cálculo de resistência característica	$f_{wk,12} = 0,70 \cdot f_{wm,12}$	A própria tabela fornece
Coeficiente de modificação	$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3}$	$k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2}$
$k_{mod1}$	Classe de carregamento	Classe de carregamento
$k_{mod2}$	Classe de umidade	Classe de umidade
$k_{mod3}$	Categoria da madeira (1ª ou 2ª)	Não especificado
Valor de cálculo	$X_d = (k_{mod} \cdot X_k) / \gamma_w$	$X_d = (k_{mod} \cdot X_k) / \gamma_w$
Relação $f_{t0,d}$ e $f_{c0,d}$	Não indicada	$f_{t0,d} = f_{c0,d}$ para Tabela 2
Cálculo de $E_{c0,ef}$	$E_{c0,ef} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot E_{c0,m}$	$E_{c0,ef} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3} \cdot E_{c0,m}$

Fonte: Autor.

#### 4.1.2 Ações e combinações de ações

A versão de 1997 da NBR 7190 apresenta cada situação de carregamento, classificando de acordo com sua duração, como carregamento normal, especial, excepcional e de construção.

Já a versão de 2022 da NBR 7190 apresenta uma mudança significativa na forma como as ações são tratadas. A Norma não dedica um capítulo específico e abrangente às ações, como ocorre na versão de 1997. Em vez disso, as ações são mencionadas de forma dispersa ao longo de diferentes seções, com destaque para as combinações de ações no contexto dos estados limites. A ênfase na versão de 2022 é dada principalmente às combinações de ações e a metodologia de cálculo dessas combinações, alinhando-se com normas complementares, como a NBR 8681 e a NBR 6123, que tratam das forças devidas ao vento e à segurança estrutural de forma mais ampla.

Essa mudança de abordagem reflete uma reorganização do conteúdo, onde as ações não são mais o foco central de um capítulo específico, mas fazem parte de um



contexto mais amplo e interligado com outras normas e critérios. Assim, na versão de 2022, as ações estão inseridas de forma mais geral dentro de um sistema de cálculo que se desvia do formato tradicional da norma, o que pode gerar uma percepção de que o detalhamento não é tão explícito quanto na versão anterior. A Norma de 2022 exige uma maior interação com normas externas e exige uma compreensão mais integrada das ações dentro do escopo do cálculo das combinações de cargas.

A Tabela 11 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto às ações e combinações de ações.

Tabela 11 – Comparativo sobre ações e combinações de ações

Critério	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Método de verificação	Estado limite último (ELU) e de serviço (ELS)	Estado limite último (ELU) e de serviço (ELS) com coeficientes parciais
Tratamento das ações	Apresenta ações e combinações diretamente na Norma	Requer consulta às normas NBR 8681 e NBR 6120
Tipo de ações	Descreve ações permanentes e variáveis, com classificação formal ( $\psi$ , $\gamma$ )	Classificação segundo NBR 8681: ações G, Q, A; diretas, indiretas, etc.
Combinações no ELU	Valores empíricos ou fixos, com coeficientes parciais claros	Fórmulas com coeficientes $\gamma$ (1,4), $\psi_0$ conforme NBR 8681
Combinações no ELS	Pouco explorado; não trata explicitamente os estados limites	Quase permanente, frequente e rara com $\psi_1$ e $\psi_2$ , segundo NBR 8681
Coeficientes de segurança	Parâmetros de segurança incorporados na Norma.	Uso explícito de $\gamma_G$ e $\gamma_Q$ , como 1,4 para ELU
Nível de integração normativa	Baixo; mais autônoma e didática	Alto; exige articulação com outras normas técnicas
Abrangência das combinações	Restringe-se a casos típicos de cobertura, piso e paredes	Abrange todos os tipos de solicitações e condições de uso e segurança
Referência à NBR 8681	Não há	Obrigatória para definição das combinações

Fonte: Autor.

#### 4.1.3 Coeficientes de segurança

Na versão de 1997 da NBR 7190, os coeficientes de segurança são apresentados sob a forma de coeficientes de ponderação aplicados tanto às ações quanto às resistências, com o objetivo de garantir a segurança nos estados limites últimos (ELU).

Na versão de 2022 da NBR 7190, os coeficientes de ponderação mantêm, em grande parte, os mesmos valores básicos da versão anterior, porém com uma padronização mais clara e alinhamento com outras normas estruturais brasileiras, como a NBR 8681.

Diferentemente da versão de 1997, a Norma de 2022 unifica a simbologia do coeficiente de resistência em um único símbolo  $\gamma_w$ , independentemente do tipo de solicitação, mantendo, contudo, valores diferenciados conforme o tipo de esforço. Essa uniformização facilita a aplicação dos critérios de dimensionamento.

#### *4.1.4 Tensões normais*

A versão de 1997 da Norma não apresenta explicitamente a equação envolvendo força e área, mantendo uma abordagem mais conceitual. Já a versão de 2022 da Norma apresenta uma estrutura mais formal e rigorosa, com equações matemáticas bem definidas para cada caso.

Um avanço importante é a inclusão de diretrizes para madeira lamelada colada cruzada (CLT), indicando que a área da seção transversal deve ser calculada com base em orientações próprias.

No caso da compressão, a verificação adota uma formulação matemática clara, com os mesmos princípios de nomenclatura utilizados na tração.

A Tabela 12 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto às tensões normais.

Tabela 12 – Comparativo sobre tensões normais

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Formulação matemática	Menos explícita; abordagem conceitual.	Formalizada com equações completas.
Tração e Compressão	Usa apenas $\sigma \leq f$ ; sem equações completas com força e área.	Usa $\sigma = N/A \leq f$ , detalhando esforço e área.
Inclinação das fibras ( $>6^\circ$ )	Aplica fórmula de Hankinson.	Continua aplicando Hankinson.
Área líquida da seção	Não explicitamente mencionada.	Mencionada de forma clara e obrigatória.
Madeira engenheirada	Não considerada.	Considera madeira lamelada colada cruzada (CLT).
Compressão perpendicular às fibras	$0,25 * f_{c0,d} * \alpha_n$	Mantém fórmula.
Abordagem geral	Conceitual, descritiva.	Numérica e objetiva.

Fonte: Autor.

#### 4.1.5 Flexão simples reta

No caso das verificações correspondentes a flexão simples reta, não houve alterações significativas, com alguns ajustes na nomenclatura. Na atual versão, madeiras industrializadas são mencionadas neste item.

A Tabela 13 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto à flexão simples reta.

Tabela 13 – Comparativo sobre flexão simples reta

Critério	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Definição do vão teórico	Menor entre: distância entre eixos dos apoios ou vão livre + altura da seção (máx 10 cm)	Mantém a mesma definição da versão anterior
Verificação de tensões	Separadas: $\sigma_{c1,d}$ e $\sigma_{t2,d}$	Expressão única: $\sigma_{M,d} \leq f_{m,d}$
Resistências utilizadas	Compressão ( $f_{cd}$ ) e Tração ( $f_{td}$ )	Resistência à flexão ( $f_{m,d}$ )
Módulo de resistência	$W = I/y$	$W = I/y$
Instabilidade e fibras inclinadas	Não tratado	Verificações adicionais exigidas
Aplicabilidade a novas tecnologias	Não contempla	Inclui madeira lamelada colada cruzada

Fonte: Autor.

#### 4.1.6 Flexão simples oblíqua

A NBR 7190:1997 trata da flexão oblíqua em elementos estruturais de madeira nas situações em que o plano de ação do momento fletor não coincide com os eixos

centrais de inércia da seção transversal. Neste caso, é necessário considerar a interação das componentes de flexão nos dois eixos principais.

Na versão 2022, o conceito de flexão oblíqua permanece semelhante, mas há atualizações importantes na nomenclatura, valores dos parâmetros e exigências normativas adicionais.

A Norma de 2022 exige também a verificação da instabilidade da peça, conforme item 6.5.5, o que implica em uma análise adicional, considerando flambagem ou instabilidades relacionadas.

A Tabela 14 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto à flexão simples oblíqua.

Tabela 14 – Comparativo sobre flexão simples oblíqua

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Tipo de solicitação	Flexão oblíqua	Idem
Expressões de verificação	Usa $f_{wd}$ (tração/compressão)	Usa $f_{md}$ (flexão)
Coeficiente $k_M$ (retangular)	0,5	0,7
Coeficiente $k_M$ (outras seções)	1,0	1,0
Redução por inclinação das fibras	Aplica-se a $f_{wd}$ se $\alpha > 6^\circ$ (7.2.8)	Aplica-se a $f_{b,d}$ se $\alpha > 6^\circ$ (6.2.8)
Verificação de instabilidade	Não mencionada	Obrigatória (6.5.5)
Terminologia de resistência	$f_{wd}$ (geral)	$f_{md}$ (flexão)
Detalhamento normativo	Menos detalhado	Mais completo

Fonte: Autor.

#### 4.1.7 Flexotração

Na versão de 1997 da NBR 7190, a flexotração é tratada como a combinação das ações de flexão e tração atuando simultaneamente sobre a seção da peça. A condição de segurança é verificada por meio da aplicação das expressões que consideram as tensões oriundas da força normal de tração e dos momentos fletores nas duas direções principais. A equação é aplicada ao ponto mais solicitado da borda mais tracionada, assumindo-se uma relação linear para a influência da força normal de tração.

A versão de 2022 da Norma NBR 7190 mantém o conceito de análise da flexotração, mas introduz modificações nos parâmetros de resistência e reforça a necessidade de avaliação da influência das fibras inclinadas. Assim como na versão

anterior, a verificação da segurança é feita com base nas equações aplicadas ao ponto mais solicitado da borda tracionada, adotando uma função linear para a influência da tração.

Na versão atual da Norma,  $\sigma_{Nt0,d}$  continua representando a tensão normal devido apenas à força de tração, mas há uma distinção importante: a resistência utilizada nas tensões oriundas dos momentos fletores passa a ser  $f_{m,d}$  (resistência de cálculo à flexão).

A Tabela 15 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto à flexotração.

Tabela 15 – Comparativo sobre flexotração

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Tipo de solicitação	Flexão + tração simultânea	Idem
Expressões de verificação	Descrita na Norma, com uso de $f_{t0,d}$	Descrita na Norma, com inserção de $f_{m,d}$
Resistência à tração	$f_{t0,d}$	$f_{t0,d}$
Resistência à flexão	$f_{t0,d}$ (paralela às fibras)	$f_{m,d}$ (flexão conforme 6.3.5)
Redução para fibras inclinadas	Substituir $f_{t0,d}$ e $f_{c0,d}$ por $f_{td,d}$ e $f_{cd,d}$ (7.3.1/7.3.2)	Redução de $f_{t0,d}$ e $f_{m,d}$ (6.2.8)
Aplicação da equação	Ponto mais solicitado da borda tracionada	Idem
Detalhamento normativo	Menos detalhado	Mais completo e com distinções claras

Fonte: Autor.

#### 4.1.8 Flexocompressão

A única alteração da edição de 1997 para a de 2022 foi a inclusão da resistência de cálculo à flexão ( $f_{m,d}$ ) na parcela da equação que corresponde as tensões decorrentes de momentos fletores.

A Tabela 16 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto à flexocompressão.

Tabela 16 – Comparativo sobre flexocompressão

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Equações de verificação	$(\sigma_{Nc,d}/f_{c0,d})^2 + \sigma_{Mx,d}/f_{c0,d} + k_M * \sigma_{My,d}/f_{c0,d} \leq 1$ $(\sigma_{Nc,d}/f_{c0,d})^2 + k_M * \sigma_{Mx,d}/f_{c0,d} + \sigma_{My,d}/f_{c0,d} \leq 1$	$(\sigma_{Nc,d}/f_{c0,d})^2 + \sigma_{Mx,d}/f_{m,d} + k_M * \sigma_{My,d}/f_{m,d} \leq 1$ $(\sigma_{Nc,d}/f_{c0,d})^2 + k_M * \sigma_{Mx,d}/f_{m,d} + \sigma_{My,d}/f_{m,d} \leq 1$
Resistência à flexão	Não aparece diretamente nas equações (usa $f_{c0,d}$ como referência para todos os termos)	$f_{m,d}$ é utilizada na verificação dos termos de flexão
Peças com fibras inclinadas	Redução com base em $f_{c\alpha,d}$ e $f_{t\alpha,d}$ (ângulo $\alpha = 6^\circ$ )	Redução em $f_{c0,d}$ e $f_{m,d}$ para $\alpha > 6^\circ$ , conforme item 6.2.8
Verificação de estabilidade	Conforme item 7.5	Conforme item 6.5.5

Fonte: Autor.

#### 4.1.9 Cisalhamento

A versão de 2022 introduz um novo conceito relacionado ao cisalhamento nas ligações, que não era abordado na versão de 1997.

Isso reflete a crescente importância das conexões e ligações entre elementos estruturais, especialmente no contexto das tecnologias modernas de madeira e conexões metálicas.

As expressões descritas na atual versão da Norma são mais gerais e podem ser aplicadas a diferentes tipos de seção transversal, o que amplia a versatilidade em relação a diferentes formas geométricas.

Na versão de 2022, o conceito de redução da força cortante nas proximidades dos apoios foi mantido, mas com uma abordagem mais refinada.

A Tabela 17 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto ao cisalhamento.

Tabela 17 – Comparativo sobre cisalhamento

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Equação da tensão de cisalhamento em vigas	$\tau_d = 3/2 * V_d / (b * h)$	$\tau_d = V_d * S / (b * I)$ , reduzida para $\tau_d = 1,5 * V_d / A$ em seções retangulares
Resistência ao cisalhamento	Coníferas: $f_{v0,d} = 0,12 * f_{c0,d}$ Dicotiledôneas: $f_{v0,d} = 0,10 * f_{c0,d}$	Coníferas: $f_{v0,d} = 0,12 * f_{c0,d}$ Folhosas: $f_{v0,d} = 0,10 * f_{c0,d}$
Redução da força cortante próxima aos apoios	$V_{red} = V * a / (2h)$ , com $a \leq 2h$	$V_{red} = V * z / (2h)$ , com $z$ variando de 0 até $2h$
Tratamento de vigas entalhadas	$\tau_d = 3/2 * V_d / (b * h_1) * (h / h_1)$ , com $h_1 > 0,75h$ . Recomendação de parafusos ou mísulas se $h_1/h \leq 0,75$	Mesma fórmula: $\tau_d = 1,5 * V_d / (b * h_1) * (h / h_1)$ , com $h_1 > 0,75h$ . Recomendação semelhante de reforços
Aplicação específica para ligações	Não há seção específica para cisalhamento em ligações	Inclui seção específica: $\tau_d = V_d / A \leq f_{v0,d}$

Fonte: Autor.

#### 4.1.10 Torção

Os critérios a respeito deste tema são iguais em ambas as versões da Norma.

#### 4.1.11 Estabilidade

Enquanto a versão de 1997 da NBR 7190 classificava as peças comprimidas de acordo com o índice de esbeltez ( $\lambda$ ), a versão de 2022 trouxe uma abordagem mais abrangente para a estabilidade, incorporando novos conceitos e refinamentos, especialmente no que diz respeito à estabilidade relativa e aos coeficientes de flambagem.

O conceito de índice de esbeltez permanece, mas o cálculo do comprimento de flambagem ( $L_0$ ) é mais explicitamente vinculado às condições de vinculação das extremidades das barras através de um coeficiente de comprimento de flambagem ( $K_E$ ).

A versão de 2022, no que diz respeito da classificação de peças comprimidas, adota uma abordagem mais unificada, focando na determinação do comprimento de flambagem ( $L_0$ ) através do coeficiente  $K_E$  e na consideração da estabilidade relativa.

Com relação a estabilidade lateral de vigas, os parâmetros são semelhantes a versão de 1997. A principal mudança é que é levada em consideração o valor de

cálculo da resistência à flexão ( $f_{m,d}$ ) e não mais o valor de cálculo da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,d}$ ).

A Tabela 18 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto à estabilidade.

Tabela 18 – Comparativo sobre estabilidade

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Classificação de peças comprimidas	Classificadas em curtas ( $\lambda \leq 40$ ), medianamente esbeltas ( $40 < \lambda \leq 80$ ) e esbeltas ( $\lambda > 80$ até 140).	Abordagem mais unificada, com uso de coeficiente de flambagem ( $K_E$ ).
Cálculo do índice de esbeltez ( $\lambda$ )	$\lambda = L_0 / i_{\min}$ , com $i_{\min} = \sqrt{I/A}$ .	$\lambda = L_0 / \sqrt{I/A}$ , com $L_0 = K_E \times L$ .
Excentricidades consideradas	Considera $e_i$ (inicial), $e_a$ (acidental), $e_c$ (fluência).	Considera flexão em duas direções e efeitos de primeira ordem.
Excentricidade acidental ( $e_a$ )	$e_a = L_0 / 300$ , não inferior a $h/30$ .	Não explicitamente citada, mas efeitos considerados via momentos fletores.
Verificação da estabilidade	Por equação de interação com $N_d$ , $M_d$ e $F_E$ (carga crítica de Euler).	Baseada em $\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$ , com coeficientes $K_{cx}$ e $K_{cy}$ .
Índice de esbeltez relativa ( $\lambda_{rel}$ )	Não utilizado.	$\lambda_{rel} = (\lambda/\pi) \times \sqrt{(f_{c0,k} / E_{0,05})}$ .
Coeficientes de flambagem	Não existiam.	Usa $K_{cx}$ e $K_{cy}$ com $k_x$ , $k_y$ e $\beta_c$ .
Estabilidade lateral de vigas	Exigida quando não há travamento. Usa $f_{c0,d}$ .	Critério mantido, mas usa $f_{m,d}$ .
Verificação dispensada	$\sigma_{c,d} \leq E_{c0,ef} / [(L/b) \times \beta_M]$ .	Mesmo critério mantido.
Fator $\beta_M$	$\beta_M = (1 / 0,26\pi) \times (\beta_E / \gamma_f) \times ((h/b)^{3/2} / (h/b - 0,63)^{1/2})$ .	$\beta_M = (4 / \pi) \times (\beta_E / \gamma_f) \times ((h/b)^{3/2} / (h/b - 0,63)^{1/2})$ .
Critério baseado em ensaio	Permite uso de teorias com comprovação experimental.	Aceita métodos experimentais, reforça modelos matemáticos.

Fonte: Autor.

#### 4.1.12 Resistência de embutimento

A Norma de 1997 apresenta uma abordagem simplificada e direta, com pouca diferenciação entre tipos de ligação, diâmetros de elementos metálicos ou produtos de madeira engenheirada, tratando a resistência ao embutimento apenas com base na resistência à compressão paralela às fibras.

A versão de 2022 trata a resistência de embutimento no item 6.2.5, apresentando uma abordagem mais moderna, detalhada e alinhada às práticas internacionais.



O dimensionamento é baseado em ensaios específicos conforme a ABNT NBR 7190-3, voltada para determinação dos esforços de compressão provocados por pinos metálicos embutidos na madeira.

A Tabela apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto à resistência de embutimento.

Tabela 19 – Comparativo sobre resistência de embutimento

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Tratamento da resistência de embutimento	Abordagem simplificada com base em $f_{c0,d}$	Abordagem detalhada com expressões específicas por tipo de elemento
Base normativa para ensaio	Anexo B da própria Norma	ABNT NBR 7190-3
Diferenciação por tipo de ligação	Não há	Sim (pinos metálicos, pregos, parafusos, com/sem pré-furação)
Diferenciação por tipo de material	Não há	Sim (madeira serrada, LVL, exclusão de OSB/compensado)
Densidade da madeira	Implícita via $f_{c0,d}$	Utiliza densidade característica $\rho_k$
Influência do diâmetro	Não considerada	Considerada diretamente nas equações
Influência do ângulo com as fibras	Apenas $f_{e90,d}$ com $\alpha_e$	Fórmula geral com $\alpha$ e $k_{90}$
Grau de detalhamento	Baixo	Elevado e normativamente moderno

Fonte: Autor.

#### 4.1.13 Coeficientes de fluência

A versão de 2022 apresenta a tabela de coeficientes considerando o tipo de material e a classe de umidade, deixando de adotar a classificação por classe de carregamento, como era feito na versão de 1997. Além disso, a nova tabela contempla o uso de madeiras engenheiradas, como a madeira laminada colada (MLC), a madeira laminada colada cruzada (MLCC) e o *laminated veneer lumber* (LVL). Os valores dos coeficientes também foram ajustados na nova versão, refletindo as atualizações nas práticas de dimensionamento.

#### 4.1.14 Estados-limite de serviço (ELS)

Na versão de 2022 da NBR 7190, os estados limites de serviço passam a ser abordados com maior abrangência e rigor técnico. A Norma reconhece que o estado

limite de serviço não se restringe apenas a deslocamentos excessivos, mas também inclui os efeitos de vibrações e os danos a elementos não estruturais.

A Tabela 20 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto aos estados-limite de serviço.

Tabela 20 – Comparativo sobre estados-limites de serviço

Aspecto	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Terminologia	Estado Limite de Deformações	Estado Limite de Serviço
Equação de verificação	$S_{d,uti} \leq S_{lim}$	$S_{d,serv} \leq S_{lim}$
Combinação de ações	Ações de longa duração	Combinação rara de serviço (ABNT NBR 8681)
Consideração da fluência	Implícita	Explícita, com coeficiente e módulos definidos
Módulo de elasticidade	$E_{c0,ef}$	$E_{c0,m}$ (médio) e $G_m$ para cisalhamento
Consideração de ligações metálicas	Não mencionada	Sim, considerando a rigidez $K_{ser}$
Compensação com contraflechas	Permitida até 2/3 de $u_G$	Permitida até 2/3 do deslocamento instantâneo permanente
Flecha admissível – construções correntes	$\leq 1/200 \cdot l$ (vão); $\leq 1/100 \cdot l$ (balanço)	Mesmos valores, com base em $E_{c0,m}$ e combinação rara
Flecha total – materiais frágeis	$\leq 1/350 \cdot l$ (vão); $\leq 1/175 \cdot l$ (balanço)	Tabela 20 da Norma
Flecha por ação variável – materiais frágeis	$\leq 1/300 \cdot l$ (vão); $\leq 1/150 \cdot l$ (balanço); máx. 15 mm	$\leq 1/500 \cdot l$ (vão); $\leq 1/250 \cdot l$ (balanço); máx. 15 mm
Flexão oblíqua	Verificação por plano de flexão	Idem
Construções especiais	Limites definidos por normas ou pelo proprietário	Limites definidos por acordo entre partes (ver NBR 15696)

Fonte: Autor.

#### 4.1.15 Estabilidade global – contraventamento

Os critérios de estabilidade global para estruturas de madeira foram mantidos entre as versões da NBR 7190 de 1997 e 2022. Embora tenha havido pequenas alterações na organização do texto, os requisitos permanecem os mesmos na versão mais recente.

#### 4.1.16 Ligações

Uma das principais inovações da Norma de 2022 é a fórmula específica para o cálculo do momento resistente característico do pino metálico. Esta equação

representa uma evolução significativa em relação à Norma anterior, permitindo um cálculo mais preciso do momento resistente do pino, fator crucial para a determinação da resistência das ligações.

A Norma de 2022 introduz uma abordagem mais detalhada para a rigidez das ligações. As ligações podem ser calculadas como rotuladas, rígidas ou semirrígidas. Nessa situação, o projetista deve comprovar por meio de modelos teóricos e/ou experimentais o cálculo da adoção de ligações rígidas e semirrígidas.

Uma das principais inovações da Norma de 2022 é a abordagem detalhada dos modos de falha. Para a determinação da resistência característica de uma seção de corte de um pino, deve-se considerar o menor valor dentre os obtidos pelas Equações indicadas nas Tabelas 17 ou 18 da Norma, que são regidas pelos diferentes modos de falha, em função da resistência de embutimento e da espessura dos elementos de madeira interligadas, do momento resistente do pino metálico e do diâmetro efetivo do pino.

A Tabela 21 apresenta a comparação das versões da NBR 7190 quanto às ligações.

Tabela 21 – Comparativo sobre ligações

Critério	NBR 7190:1997	NBR 7190:2022
Critério de dimensionamento	$S_d \leq R_d$ sem fórmula explícita para $R_d$	$R_d = (k_{mod} * R_k) / \gamma_w$ , com $\gamma_w = 1,4$
Modelagem da ligação	Simples: embutimento ou flexão	Baseada em modos de falha (I, II, III)
Resistência de embutimento	Usa $f_{c0,d}$ e coeficiente $\alpha_e$	Baseada em ensaio conforme NBR 7190-3, ou relações aproximadas da seção 6.2.5
Momento resistente do pino	Aplicado apenas com $\beta > \beta_{lim}$	Equação explícita: $M_{yR,k} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6}$ , válida sempre
Efeito de grupo	$n = 8 + 2/3(n - 8)$	Igual à versão 1997
Configurações de corte	Corte duplo tratado indiretamente	Corte simples e duplo diferenciados
Critérios de falha	Baseado apenas em $\beta$	Vários modos de falha (Tabelas 17 e 18)
Efeito de confinamento	Não considerado	Considerado com limites por tipo (15% a 100%)
Pré-furação	Foco em fendilhamento	Mantido, com tolerâncias rígidas e especificações detalhadas
Resistência ao arrancamento	Não considerado	Incluído como $F_{ax,Rk}$
Rigidez das ligações	Baseada no número de pinos ( $\geq 4$ para rígidas)	Abordagem sofisticada: rotuladas, rígidas ou semirrígidas, com equações para $K_{ser}$ e $K_u$

Fonte: Autor.

#### *4.1.17 Disposições construtivas*

Na versão de 2022 da NBR 7190, as disposições construtivas estão organizadas no capítulo 9 e mantêm a maioria dos princípios fundamentais da versão anterior, porém com ajustes normativos e modernizações.

No que diz respeito às dimensões mínimas das seções transversais das peças estruturais, a Norma mantém os mesmos valores da versão anterior. A inovação nessa versão está na permissão de valores inferiores para estruturas industrializadas, desde que haja comprovação experimental ou teórica de eficiência estrutural e controle de qualidade assegurado pela empresa produtora.

Houve mudanças referentes às arruelas, as quais visam garantir maior uniformidade e desempenho das conexões metálicas com a madeira, alinhando a Norma brasileira às práticas internacionais.

Os limites de esbeltez estabelecidos para as peças estruturais permanecem inalterados. Também é mantida a necessidade de alinhar os eixos das barras das treliças com os nós teóricos da estrutura.

Por fim, a classificação das peças de madeira passou a depender da conformidade com valores normativos de resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}$ ) ou de resistência à flexão ( $f_{m,k}$ ), conforme apresentado nas tabelas da Norma. Além disso, a Norma também introduz um item novo relacionado a peças de seção circular variável, como toras roliças.

#### *4.1.18 Projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira*

Como descrito no item 2.6.18.1, a versão de 1997 da NBR 7190 não abrange uma seção específica sobre o projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira, especialmente voltadas para coberturas. Embora diversos critérios estruturais, de dimensionamento, ligações e execução estejam presentes ao longo da Norma, não há uma abordagem direta, sistematizada e exclusiva para sistemas treliçados, como ocorre na versão de 2022. Sendo assim, o tema era tratado de forma indireta, com base em princípios gerais de dimensionamento, esbeltez, ligações e execução, sem

atenção específica aos aspectos geométricos, às particularidades das tesouras ou aos requisitos para verificação dos estados-limite de serviço em coberturas treliçadas.

A versão de 2022 da NBR 7190 traz um avanço significativo ao incluir, em seu Capítulo 10, uma seção exclusiva para o projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira, com foco em coberturas. Essa seção estabelece diretrizes claras sobre ações a serem consideradas, aspectos geométricos, dimensionamento de seções transversais, detalhamento de ligações e procedimentos para análise estrutural e verificação de estados-limite.

#### *4.1.19 Estruturas de madeira em situação de incêndio*

Assim como no item anterior, a edição de 1997 da NBR 7190 não contempla nenhuma seção específica dedicada ao projeto de estruturas de madeira em situação de incêndio. Não há orientações quanto à resistência da madeira exposta a altas temperaturas, nem diretrizes sobre métodos de cálculo, verificação de estabilidade ou comportamento dos elementos estruturais sob ação do fogo. Dessa forma, o tema da segurança estrutural em incêndios era totalmente ausente do texto normativo, o que limitava a abrangência da Norma frente às exigências de desempenho e segurança em edificações.

A versão de 2022 da NBR 7190 introduz um avanço significativo ao incluir, em seu capítulo 11, uma seção dedicada às estruturas de madeira em situação de incêndio. A inclusão de uma seção específica sobre estruturas de madeira em situação de incêndio na versão de 2022 da NBR 7190 representa um avanço técnico e normativo de grande relevância. Tal inclusão preenche uma lacuna existente na versão anterior, atendendo às crescentes exigências de segurança contra incêndio em projetos de edificações. Além disso, proporciona aos projetistas critérios objetivos para avaliar o desempenho da madeira frente ao fogo, permitindo o uso responsável e seguro do material em contextos onde sua aplicação era antes limitada por falta de regulamentação específica. Ao trazer diretrizes claras sobre o comportamento da madeira em altas temperaturas e métodos adequados de verificação, a Norma fortalece o papel da madeira como material viável para construções seguras, inclusive em situações mais desfavoráveis.

#### *4.1.20 Durabilidade e proteção da madeira*

Na versão de 1997 da NBR 7190, a durabilidade da madeira é tratada de forma breve e genérica. A Norma reconhece que a madeira é um material orgânico naturalmente suscetível à biodeterioração. No entanto, a Norma não apresenta um sistema de classificação ou metodologia específica para avaliação ou tomada de decisão quanto à durabilidade e preservação da madeira.

Já a versão de 2022 da NBR 7190 traz um avanço expressivo ao dedicar uma seção exclusiva ao tema da durabilidade da madeira, estabelecendo critérios objetivos para avaliação e preservação do material.

Um dos principais destaques é a introdução do Sistema de Categorias de Uso, que organiza a exposição da madeira em seis categorias distintas, de acordo com as condições ambientais, o desempenho esperado do componente e os agentes de degradação presentes.

A inclusão de um tópico específico sobre a durabilidade da madeira na versão de 2022 representa um avanço fundamental em relação à versão de 1997. O novo texto normativo não apenas amplia o entendimento técnico sobre os riscos de degradação da madeira, como também fornece um instrumento prático e sistemático de tomada de decisão para projetistas e fabricantes. Ao adotar uma abordagem mais detalhada, alinhada com outras normas como a ABNT NBR 16143, a norma fortalece a confiabilidade das estruturas de madeira, garantindo maior desempenho e longevidade das edificações. Trata-se, portanto, de uma evolução normativa que contribui para o uso mais racional e durável da madeira como material estrutural.

#### *4.1.21 Resumo comparativo das principais alterações*

A atualização da NBR 7190 em 2022 trouxe mudanças significativas nos critérios de dimensionamento de estruturas de madeira em relação à versão de 1997.

A versão de 1997 da NBR 7190 definia a classificação e propriedades da madeira com base em valores médios para espécies nativas (coníferas e dicotiledôneas) e classes de resistência tabeladas. Também apresentava relações aproximadas para a determinação dos valores de resistência característicos.

Em contraste, a versão de 2022 adota uma abordagem mais detalhada e precisa. As propriedades mecânicas são apresentadas em tabelas de classe de resistência divididas em duas categorias: uma para madeiras de florestas nativas baseada em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos, e outra para madeiras com base em ensaios de peças estruturais. Embora ainda apresente valores aproximados, a quantidade é significativamente menor, o que pode ser atribuído à maior precisão dos valores característicos fornecidos pela Norma, que agora é dividida em sete partes, sendo seis delas dedicadas a ensaios.

Houve uma alteração no coeficiente de modificação  $k_{mod}$ . A versão de 1997 considerava três coeficientes parciais: classe de carregamento, classe de umidade e categoria da madeira. A versão de 2022 simplifica para apenas dois coeficientes: classe de carregamento e classe de umidade. Acredita-se que a categoria da madeira já esteja implicitamente incluída no coeficiente total da versão de 2022, embora não seja explicitamente especificado.

No que diz respeito aos coeficientes de segurança, os coeficientes de ponderação das resistências sofreram alterações. Na versão de 2022, o valor para tensões normais (compressão e tração) passou a ser 1,4, unificando a simbologia para  $\gamma_w$ , independentemente do tipo de solicitação, mas mantendo valores diferenciados conforme o tipo de esforço (por exemplo, 1,8 para cisalhamento). A versão de 1997 utilizava  $\gamma_{wc} = 1,4$  para compressão paralela,  $\gamma_{wt} = 1,8$  para tração paralela e  $\gamma_{ww} = 1,8$  para cisalhamento paralelo.

As equações de verificação nos estados-limites últimos apresentaram mudanças. A principal alteração é que a versão de 1997 considerava a resistência à tração como um dos critérios avaliados em algumas verificações de ELU, enquanto a versão de 2022 adota a resistência à flexão como o parâmetro principal para essas verificações. Além disso, a versão de 2022 aborda claramente a questão da área líquida da seção transversal, algo que não era explicitamente tratado na versão de 1997. Houve também mudanças no coeficiente que considera a geometria da seção transversal.

Na análise da estabilidade, a versão mais antiga da Norma fazia a classificação das peças comprimidas em três categorias com base no índice de esbeltez: peças curtas, medianamente esbeltas e esbeltas. O critério era relativamente simples e

baseado em relações empíricas. A NBR 7190:2022 trouxe uma nova abordagem, fundamentada na esbeltez relativa e em coeficientes de flambagem ( $K_{cx}$  e  $K_{cy}$ ), com cálculos que levam em consideração propriedades mecânicas características e módulos de elasticidade. Essa abordagem moderna proporciona um dimensionamento mais rigoroso, especialmente em elementos comprimidos, aumentando a segurança estrutural das edificações em madeira.

Com relação aos coeficientes de fluência e às verificações de flechas nos estados-limites de serviço (ELS), também houve alterações significativas. A tabela de coeficientes de fluência da versão de 2022 considera o tipo de material, a classe de umidade e a inclusão de madeiras engenheiradas, como MLC, MLCC e LVL. No que diz respeito às verificações de flechas, a versão mais atual da Norma traz um detalhamento maior quanto às combinações que devem ser consideradas no cálculo, além de apresentar valores tabelados, diferentemente da versão de 1997. Essas mudanças refletem a adequação da Norma às práticas modernas de projeto de estruturas de madeira.

Na parte das ligações, a Norma sofreu alterações significativas, com mudanças relevantes em parâmetros, equações e critérios de verificação. A versão de 1997 tratava a metodologia de cálculo para ligações por pinos metálicos de forma mais genérica, resultando em verificações que abordavam o embutimento da madeira ou a flexão do pino de forma independente, sem que as duas soluções coincidissem.

A versão de 2022 apresenta uma mudança substancial no comportamento das ligações, com uma diferenciação muito maior para ligações por pinos metálicos, anéis metálicos, com e sem chapas metálicas, oferecendo uma abordagem mais global e abrangente para ligações madeira-aço. Ela estabelece critérios muito específicos para o cálculo dessas ligações, explicitando a diferenciação entre cálculo de ligações utilizando corte simples e corte duplo. Na versão mais atual, tanto a resistência ao embutimento quanto a flexão do pino são consideradas parâmetros fundamentais para a verificação e cálculo da ligação, sendo abordadas de forma independente com equações específicas.

A resistência característica da ligação na versão de 2022 é calculada com base em modos de falha especificados pela Norma, que variam de acordo com o tipo de corte (simples ou duplo) e o uso de chapas metálicas. Os espaçamentos exigidos



(distância entre furos, e do furo à borda da peça) também foram alterados, refletindo uma evolução na Norma que especifica o método de ligação de forma muito mais detalhada do que a versão de 1997.

Por fim, a nova versão da NBR 7190 passou a contemplar dois tópicos antes inexistentes: o projeto e a execução de estruturas treliçadas em madeira, e as considerações de estruturas de madeira em situação de incêndio. A introdução desses temas representa um avanço importante, especialmente em um contexto onde segurança contra incêndios e sistemas estruturais eficientes estão cada vez mais presentes nos projetos contemporâneos.

Com base nesta análise teórica, observa-se que a versão 2022 da NBR 7190 incorpora avanços significativos em termos de segurança, confiabilidade e aplicabilidade prática no dimensionamento de estruturas de madeira.

## 4.2 COMPARAÇÃO TÉCNICA

Nesta seção, apresenta-se a análise comparativa entre os resultados obtidos no dimensionamento da estrutura de cobertura de madeira do auditório do CTU–UESPI, com base nas versões 1997 e 2022 da NBR 7190. A comparação abrange aspectos técnicos como as seções transversais dos elementos estruturais, os critérios normativos adotados e as exigências de verificação estrutural.

As Tabelas a seguir apresentam os principais resultados do dimensionamento técnico. A Tabela 22 traz a comparação entre as seções transversais obtidas, enquanto as Tabelas 23 e 24 apresentam os quantitativos estimados da estrutura, conforme cada versão da Norma.

Tabela 22 – Seções transversais da estrutura de madeira

Elemento	Versão de 1997 (cm)	Versão de 2022 (cm)
Terças	6 x 18	6 x 18
Barras comprimidas	6 x 13	10 x 20
Barras Tracionadas	6 x 13	6 x 13

Fonte: Autor.

Tabela 23 – Resumo de quantitativo do projeto estrutural da cobertura: versão de 1997

Item	Quantidade	Unidade
Comprimento total das terças	94,80	m
Comprimento total das barras da tesoura	88,82	m
Volume total de madeira	1,72	m <sup>3</sup>
Comprimento total dos contraventamentos	103,26	m
Peso total dos contraventamentos	161,09	kg

Fonte: Autor.

Tabela 24 – Resumo de quantitativo do projeto estrutural da cobertura: versão de 2022

Item	Quantidade	Unidade
Comprimento total das terças	94,80	m
Comprimento total das barras da tesoura	88,82	m
Volume total de madeira	2,21	m <sup>3</sup>
Comprimento total dos contraventamentos	103,26	m
Peso total dos contraventamentos	161,09	kg

Fonte: Autor.

O primeiro elemento analisado foi a terça, cuja uma das principais exigências normativas está associada ao controle de deformações, em especial à flecha. Ambas as versões da Norma permitem a adoção de contraflechas. Esse recurso foi utilizado apenas na verificação conforme a versão de 1997, uma vez que, apesar de a seção 6 cm × 18 cm ter atendido às demais exigências normativas, a flecha calculada ultrapassava o limite permitido. Com a adoção da contraflecha, os valores máximos de deformação permaneceram dentro dos limites estabelecidos, garantindo o desempenho adequado da estrutura. Já na versão de 2022, com base no dimensionamento realizado no projeto, a mesma seção 6 cm × 18 cm foi suficiente para atender diretamente ao critério de flecha, sem necessidade de contraflecha.

Essa diferença se deve principalmente ao módulo de elasticidade adotado por cada versão da Norma. A versão de 1997 utiliza o módulo de elasticidade efetivo ( $E_{c0,ef}$ ), que considera a influência do fator de modificação  $K_{mod}$ , resultando na redução do valor do módulo a ser utilizado nos cálculos. Já a versão de 2022 adota diretamente o módulo médio ( $E_{c0,m}$ ). Como a flecha é inversamente proporcional ao módulo de elasticidade, a utilização do módulo efetivo reduzido na versão de 1997 leva a um aumento na flecha calculada, exigindo, em muitos casos, uma seção transversal maior para atender ao limite normativo. Neste caso específico, como já mencionado anteriormente, não foi necessário aumentar a seção devido à adoção da contraflecha.

Quanto ao dimensionamento das barras da tesoura, a versão de 1997 permitiu, com base nas verificações realizadas neste projeto, o uso de seções de 6 cm × 13 cm tanto para barras comprimidas quanto para barras tracionadas. Na versão de 2022, para as barras tracionadas, a seção 6 cm x 13 cm – idêntica à da versão anterior da Norma – foi a menor seção comercial que atendeu aos critérios de verificação. Já para as barras comprimidas, de acordo com os resultados obtidos no dimensionamento, a seção comercial mínima que satisfaz os critérios normativos foi 10 cm x 20 cm.

Essa diferença no dimensionamento das barras comprimidas entre as versões da Norma decorre da maior rigidez dos critérios introduzidos na versão atual, que passa a considerar coeficientes de flambagem e verificação da esbeltez relativa, em contraste com as equações empíricas mais simples da versão anterior.

Diante dos resultados obtidos, observa-se que a NBR 7190:2022 adota critérios mais exigentes e atualizados no dimensionamento das peças de madeira, principalmente na análise de estabilidade das peças. Essa versão da Norma demandou seções transversais maiores em alguns elementos da estrutura, especificamente nas barras comprimidas. Embora essas exigências possam implicar em um custo estrutural mais elevado, elas contribuem para um projeto mais robusto, seguro e alinhado com as práticas mais recentes da engenharia estrutural. Já a versão de 1997, tecnicamente válida durante o seu período de vigência, adota critérios mais simplificados, o que a torna desalinhada com os parâmetros mais atuais incorporados na versão de 2022.

#### **4.3 COMPARAÇÃO ECONÔMICA**

Nesta seção, é apresentada a comparação econômica entre as estruturas dimensionadas com base nas versões de 1997 e 2022 da Norma NBR 7190. O objetivo é analisar o impacto das diferentes exigências normativas sobre o custo estimado do projeto, considerando tanto os elementos estruturais principais. Foram destacadas as principais justificativas para as variações de custo observadas entre as duas versões, levando em conta as seções comerciais adotadas no projeto e a disponibilidade de materiais no mercado local.

A Tabela 25 apresenta a média de preços das seções de vigas utilizadas, conforme consulta realizada com fornecedoras locais.

Tabela 25 – Preço médio das seções comerciais utilizadas

Seção (cm)	Preço médio/metro linear (R\$)
6 x 13	40,74
6 x 18	72,38
10 x 20	150

Fonte: Autor.

As Tabelas 26 e 27 apresentam, respectivamente, o custo total da estrutura de madeira dimensionada conforme cada uma das versões da Norma analisadas.

Tabela 26 – Orçamento da estrutura de madeira: versão de 1997

Planilha orçamentária								
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quantidade	Valor Unit (R\$)	Total (R\$)	Peso (%)
1	14210	ORSE	Barra roscada zincada $\varnothing$ 5/8", aço SAE 1020	M	103,26	39,23	4050,89	28%
2	-	Cotação local	Viga não aparelhada 6 x 13 cm, em maçaranduba - bruta	M	88,82	40,74	3618,30	25%
3	-	Cotação local	Viga não aparelhada 6 x 18 cm, em maçaranduba - bruta	M	94,80	72,38	6861,15	47%
<b>TOTAL</b>							<b>R\$ 14.530,34</b>	

Fonte: Autor.

Tabela 27 – Orçamento da estrutura de madeira: versão de 2022

Planilha orçamentária								
Item	Código	Banco	Descrição	Und	Quantidade	Valor Unit (R\$)	Total (R\$)	Peso (%)
1	14210	ORSE	Barra roscada zincada $\varnothing$ 5/8", aço SAE 1020	M	103,26	39,23	4050,89	21%
2		Cotação local	Viga não aparelhada 6 x 13 cm, em maçaranduba - bruta	M	48,78	40,74	1987,18	11%
3	-	Cotação local	Viga não aparelhada 6 x 18 cm, em maçaranduba - bruta	M	94,80	72,38	6861,15	36%
4	-	Cotação local	Viga não aparelhada 10 x 20 cm, em maçaranduba - bruta	M	40,04	150,00	6006,00	32%
<b>TOTAL</b>							<b>R\$ 18.905,22</b>	

Fonte: Autor.

Com base nos dados obtidos por meio do orçamento estimado para as estruturas dimensionadas conforme as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, observou-se que a versão de 1997 apresentou-se como a opção mais econômica. Esse resultado está diretamente relacionado à abordagem mais simplificada da Norma de 1997, sobretudo nos critérios de dimensionamento das barras comprimidas da tesoura, uma vez que as barras tracionadas mantiveram a mesma seção comercial em ambas as versões. Isso permitiu a utilização de peças com menor seção transversal para atender às exigências normativas.

Por outro lado, a versão de 2022, por adotar critérios mais rigorosos e atualizados, demandou seções mais robustas para algumas peças estruturais, particularmente nas barras comprimidas da tesoura. Tais exigências contribuíram um aumento no custo final desses elementos.

A diferença de custo entre as duas versões normativas foi significativa. O orçamento da estrutura conforme a Norma de 2022 foi aproximadamente 30,11% superior ao da versão de 1997. Esse acréscimo se deve também ao fato de que, localmente, não estavam disponíveis seções intermediárias, como 8 cm x 16 cm, que provavelmente atenderiam a todos os critérios de dimensionamento e poderiam reduzir o custo final. A indisponibilidade dessas opções acabou forçando a adoção de seções bem mais robustas, contribuindo diretamente para o aumento do custo total da estrutura.

Portanto, conclui-se que as exigências da versão de 2022 da Norma, embora mais rigorosas e alinhadas às boas práticas da engenharia estrutural, implicaram em um impacto econômico considerável no contexto deste projeto específico, especialmente devido à escolha e disponibilidade de seções comerciais no mercado local.

Cabe ressaltar, no entanto, que esses resultados não podem ser generalizados para todos os projetos estruturais em madeira. O custo final está sujeito a variáveis como a espécie da madeira utilizada, as dimensões da estrutura, os tipos de ligação adotados e as condições ambientais e logísticas da obra. Neste trabalho, a estrutura foi projetada utilizando madeira serrada, o que indica que, nesse contexto específico, a versão de 1997 apresentou uma estimativa de custo inferior. Para uma análise econômica mais abrangente, seria necessário estudar diferentes tipos de madeira,

outras aplicações estruturais e também o impacto das ligações no orçamento final do projeto, especialmente porque, quando formadas por elementos metálicos, essas ligações podem representar um acréscimo relevante no custo estrutural.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma análise comparativa entre as versões de 1997 e 2022 da NBR 7190, Norma brasileira que regulamenta o dimensionamento de estruturas de madeira. A comparação foi desenvolvida com base nos aspectos teórico, técnico e econômico, por meio de um estudo de caso aplicado à cobertura do auditório do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual do Piauí (CTU–UESPI).

Durante o desenvolvimento da pesquisa, foi possível observar que a atualização da Norma em 2022 trouxe mudanças significativas nos critérios de dimensionamento, tanto na forma de apresentação das equações quanto na abordagem conceitual. No aspecto teórico, a nova versão adotou parâmetros mais rigorosos e alinhados com as práticas internacionais, além de um tratamento mais técnico das propriedades da madeira, principalmente no que diz respeito à caracterização por classes de resistência e na simplificação dos coeficientes de modificação.

Do ponto de vista técnico, as alterações normativas impactaram diretamente o dimensionamento dos elementos da cobertura. Na verificação das flechas das terças, a versão de 1997 exigiu o uso de contraflechas para que os limites fossem atendidos, enquanto a versão de 2022 dispensou essa medida devido à utilização do módulo de elasticidade médio ( $E_{c0,m}$ ), que resulta em menor deformação.

Na comparação econômica, observou-se que a versão de 1997 apresentou um custo total inferior em relação à versão de 2022. Baseado no dimensionamento realizado neste trabalho, verificou-se que a versão de 1997 apresentou exigências menos rigorosas, o que permitiu a utilização de seções estruturais menores nas peças comprimidas. Por outro lado, a versão atual, embora mais rigorosa, resultou em um projeto mais robusto, seguro e alinhado com os avanços tecnológicos e metodológicos da engenharia de estruturas de madeira.

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a atualização da NBR 7190 implicou em impactos consideráveis nas diretrizes de projeto, exigindo maior rigor no dimensionamento e nas verificações estruturais. Tais mudanças demandam dos

profissionais e acadêmicos da área uma atualização constante quanto às normas vigentes.

Como sugestões para trabalhos futuros, destacam-se quatro linhas de pesquisa que podem complementar e aprofundar o tema aqui explorado:

1. Análise da estabilidade lateral de vigas: Analisar vigas de madeira em situações que exigem verificação da estabilidade lateral, visando propor equações de dimensionamento não contempladas pela NBR 7190.
2. Estudo da estabilidade lateral em seções não retangulares: Investigar, por meio de estudos experimentais ou documentais, a estabilidade lateral dessas seções e, a partir disso, fornecer subsídios para derivar critérios normativos específicos.
3. Estudo comparativo com outros tipos de madeira: Comparar comportamento estrutural e custos de madeira roliça e engenheirada, ampliando a base de avaliação.
4. Análise comparativa do impacto das ligações nas versões de 1997 e 2022 da NBR 7190: Quantificar o impacto das diferenças das edições 1997 e 2022 da NBR 7190 no dimensionamento e nos custos de pregos, parafusos, anéis e chapas.



## 6 REFERÊNCIAS

ARCHDAILY BRASIL. **As possibilidades estruturais com madeira roliça**. 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/938333/as-possibilidades-estruturais-com-madeira-rolica>. Acesso em: 12 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120:2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123:2023 - Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:1997 - Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190:2022 - Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:2024 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações**. Rio de Janeiro, 2024. Errata 1 publicada em 25 fev. 2025.

BRANDNER, R.; FLATSCHER, G.; RINGHOFER, A.; SCHICKHOFER, G.; THIEL, A. **Cross-laminated timber (CLT): overview and development**. European Journal of Wood and Wood Products, v. 74, n. 3, p. 331-351, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0999-5>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Madeiras e suas aplicações estruturais**. São Carlos: EdUFSCar, 2003.

CALIL JUNIOR, C. **Estruturas de Madeira: Projetos, Dimensionamento e Exemplos de Cálculo**. São Carlos: EESC-USP, 2009.

D'ALAMBERT, F. **Galpões em Pórticos com Perfis Estruturais Laminados**. 7. ed. Gerdau, 2018. Disponível em: [https://gsn.gerdau.com/sites/gsn\\_gerdau/files/downloadable\\_files/Manual%20Galp%C3%B5es%20em%20P%C3%B3rticos%20com%20Perfis%20Estruturais%20Laminados.pdf](https://gsn.gerdau.com/sites/gsn_gerdau/files/downloadable_files/Manual%20Galp%C3%B5es%20em%20P%C3%B3rticos%20com%20Perfis%20Estruturais%20Laminados.pdf). Acesso em: 15 jun. 2025.

DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. **Ensaio de madeira e estruturas de madeira**. São Carlos: EdUFSCar, 2004.

EESC JR. **O uso da madeira na Construção Civil: no Brasil e no mundo**. 2022. Disponível em: <https://eescjr.com.br/blog/o-uso-da-madeira-na-construcao-civil-tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-tema/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **O estado das florestas do mundo 2020: florestas, biodiversidade e pessoas**. Roma, 2020. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/32473>. Acesso em: 9 jan. 2025.

FOELKEL, C. **Qualificação de produtos de madeira para a construção civil**. Revista da Madeira, n. 130, p. 40 - 45, 2011.

GAGNON, S.; PIRVU, A. (Orgs.). **CLT Handbook: Cross-Laminated Timber**. Canadian ed. Pointe-Claire, Québec: FPIInnovations, 2011.

INBEC. **História e evolução dos materiais: como concreto, aço e madeira**. [s. l], 27 nov. 2023. Disponível em: <https://inbec.com.br/blog/historia-evolucao-materiais-como-concreto-aco-madeira>. Acesso em: 9 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. **Árvore Pau-Brasil: história e curiosidades que você não conhece**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.ibflorestas.org.br/conteudo/arvore-pau-brasil>. Acesso em: 9 jul. 2025.

LA GUARDA LOW; CARPINTERIA; MORETTI INTERHOLZ. **Cobertura do Shopping Iguatemi, Fortaleza**. Revista Projeto, 6 fev. 2014. Disponível em: <https://revistaprojeto.com.br/noticias/guarda-low-carpinteria-moretti-interholz-cobertura-shopping-iguatemi-fortaleza/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

LEROY MERLIN. O que é madeira compensada, como escolher e características! Blog Leroy Merlin, 2023. Disponível em: <https://blog.leroymerlin.com.br/madeira-compensada/>. Acesso em: 12 jul. 2025.

LOGSDON, N. B. **Madeira: Uso e Aplicações**. São Paulo: Blucher, 2015.

LOGSDON, N. B. **Propriedades tecnológicas das madeiras e de seus derivados**. Florianópolis: UFSC, 1999.

MADÉL. **Projetos e técnicas de construção com estrutura de madeira**. 2024. Disponível em: <https://www.madel.com.br/blog/projetos-e-tecnicas-de-construcao-com-estrutura-de-madeira/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MADEIREIRA SÃO FRANCISCO. **Madeira serrada**. 2024. Disponível em: <https://madeireirasaofrancisco.com/produtos/madeira-serrada/>. Acesso em: 12 jul. 2025.

MATA NATIVA. **O uso da madeira na construção civil**. 2019. Disponível em: <https://matanativa.com.br/madeira-na-construcao-civil/>. Acesso em: 9 jul. 2025.

MEIRELLES, C. R. M.; DINIS, H.; SEGALL, M. L.; SANT'ANNA, S. S. **Madeira na arquitetura: o resgate de uma linguagem construtiva tradicional**. In: FÓRUM DE PESQUISA CIENTÍFICA MACKENZIE, 3., 2007, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007. Disponível em: [https://www.academia.edu/download/55159292/MACK\\_III\\_FORUM\\_CELIA\\_REGINA.pdf](https://www.academia.edu/download/55159292/MACK_III_FORUM_CELIA_REGINA.pdf). Acesso em: 9 jul. 2025.

MELHADO, S. P. **Madeira laminada colada: teoria e prática**. São Paulo: Blucher, 2008.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1986.

OLIVEIRA, G. L. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho. Recomendações para o processo de projeto arquitetônico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-09012019-144057/publico/MEGABRIELALOTUFOOLIVEIRA\\_rev.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-09012019-144057/publico/MEGABRIELALOTUFOOLIVEIRA_rev.pdf). Acesso em: 12 jul. 2025.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

SILVA, J. P.; SOUZA, M. A. **Análise das propriedades físico-mecânicas de madeiras tropicais para uso estrutural**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 22, n. 3, p.200 - 207, jul./set. 2018.

STAMATO, G. C.; CALIL JUNIOR, C. **Resistência ao Embutimento da Madeira Compensada**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 18, p. 49 – 76, 2001.

TIMBAU ESTRUTURAS. **Shopping Iguatemi Fortaleza**. [s. l], 2021. Disponível em: <https://timbauestruturas.com.br/project/shopping-iguatemi-fortaleza/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ. Centro de Tecnologia e Urbanismo. **Projeto arquitetônico do auditório do CTU**. Teresina: UESPI, 2024. Relatório técnico.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO PIAUÍ. Centro de Tecnologia e Urbanismo. **Projeto estrutural do auditório do CTU**. Teresina: UESPI, 2024. Relatório técnico.

VIEIRA DA MOTA, R. L. **A utilização da madeira como elemento estrutural na construção de moradias no Brasil**. 2017. Disponível em: [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/63104/1/Renato\\_lopes\\_Vieira\\_da\\_Mota.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/63104/1/Renato_lopes_Vieira_da_Mota.pdf). Acesso em: 9 jul. 2025.

ZENID, G. J. **Madeira na construção civil**. 2000. Disponível em: <https://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20na%20constru%E7%E3o%20civil.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2025.

## **ANEXOS**

## ANEXO I – MEMORIAL DE CÁLCULO

### ANEXO IA – DIMENSIONAMENTO CONFORME A VERSÃO DE 1997

TERÇAS			
<b>Características da madeira</b>			
Peça		Terça	
Modúlo de elasticidade médio	Ec0,m	22733,00	MPa
Res. média à compressão paralela as fibras	fco,m	82,90	MPa
Res. característica à compressão paralela as fibras	fc0,k	58,03	MPa
Res. média à tração paralela as fibras	fto,m	138,50	MPa
Res. característica à tração paralela as fibras	ft0,k	96,95	MPa
Res. média ao cisalhamento	fvo,m	14,90	MPa
Res. característica ao cisalhamento	fv0,k	10,43	MPa
Kmod 1- Classe de carregamento	Permanente	0,60	
Kmod 2 - Classe de umidade	2	1,00	
kmod 3 - Categoria	2	0,80	
Kmod	Kmod 1 * Kmod 2 * Kmod 3	0,48	
Res. de cálculo perpendicular as fibras	fc90,d	0,50	kN/cm²
Modúlo de elasticidade efetivo	Ec0,ef	10911,84	MPa
Res. de cálculo à compressão paralela as fibras	fc0,d	1,99	kN/cm²
Res. de cálculo à tração	ft0,d	2,59	kN/cm²
Res. de cálculo ao cisalhamento	fv0,d	0,28	kN/cm²
Res. de cálculo (compressão)	fwd	1,99	kN/cm²
<b>Cálculo dos esforços</b>			
Inclinação	i	10,00	%
Vão (distância entre tesouras - eixo a eixo)	L	4,00	m
Distância entre as terças (eixo a eixo)	d	1,70	m
Carga do telhado distribuida	p	0,73	kN/m²
Carga distribuida nas terças	pt	1,44	kN/m
Angulo de inclinação	θ	5,71	°
Carga no eixo x	px	0,14	kN/m
Carga no eixo y	py	1,43	kN/m
<b>Geometria da peça</b>			
Vão (distância entre tesouras)	L	400,00	cm
Base	b	6,00	cm
Altura	h	18,00	cm
Área da seção transversal	A	108,00	cm²
Inércia (eixo x)	Ix	2916,00	cm⁴
Inércia (eixo y)	Iy	324,00	cm⁴
<b>Direção X (em torno)</b>			
Comprimento destravado em x	Lefx	2,00	m
	Mmáx,y	0,07	kN.m

	Vmáx,x	0,14	kN
Direção Y (em torno)			
Comprimento destravado em y	Lefy	4,00	m
	Mmáx,x	2,87	kN.m
	Vmáx,y	2,87	kN
Esforços de cálculo			
	Mxd	401,20	kN.cm
	Myd	10,03	kN.cm
	Vxd	0,20	kN
	Vyd	4,01	kN
Flexão simples oblíqua			
	Wx	324,00	cm³
	Wy	108,00	cm³
	σMx,d	1,24	kN/cm²
	σMy,d	0,09	kN/cm²
	Km	0,50	
	fw,d	1,99	kN/cm²
Verificação	≤1	0,65	Ok
Verificação	≤1	0,36	Ok
Compressão perpendicular			
	fc90,d	0,50	kN/cm²
	Rd	4,01	kN
	b	6,00	cm
	c	7,00	cm
	σc90,d	0,10	kN/cm²
Verificação	σc90,d ≤ fc90,d (kN/cm²)	Ok	
Cisalhamento			
	τxd	0,003	kN/cm²
	τyd	0,056	kN/cm²
	τ	0,056	kN/cm²
	fv0,d	0,278	kN/cm²
Verificação	τd ≤ fv0,d (kN/cm²)	Ok	
Flambagem lateral			
Verificação	L1 (Travamento)	200,00	cm
	Base (b)	6,00	cm
	ℓm	12,30	
	Ec0,ef	10911,84	MPa
	fc0,d	19,90	MPa
	L1/b	33,33	
	Eco,ef/ℓm*fc0,d	44,59	
Verificação	L1/b≤Eco,ef/ℓm*fc0,d	Ok	

Flecha (Estado Limite de Serviço)			
$\delta_{lim}=L/200$	Coeficiente de fluência	$\phi=$ 0,80	
	$I_x$	2916,00	cm <sup>4</sup>
	$I_y$	324,00	cm <sup>4</sup>
	$\delta_{max x}$	0,08	cm
	$\delta_{max y}$	1,50	cm
	$\delta_{final x}$	0,15	cm
	$\delta_{final y}$	2,70	cm
	$\delta_{limx}$	1,00	cm
	$\delta_{limy}$	2,00	cm
	Verificação em x	Ok	
	Verificação em y	Redimensionar	
Verificação de possibilidade de contraflecha (eixo y)			
$\delta_{camber lim} \leq 2/3 \cdot \delta_g$	g	0,73	kN/m <sup>2</sup>
	gt	1,23	kN/m
	gty	1,23	kN/m
	$\delta_g$	1,29	cm
	$2/3 \cdot \delta_g$	0,86	cm
	Indicar contraflecha		
	Aplicar contraflecha de 0,80cm		

BARRAS COMPRIMIDAS			
Características da madeira			
Peça	Barra da treliça	Nº	25
Modulo de elasticidade médio	$E_{c0,m}$	22733,00	MPa
Res. característica à compressão paralela as fibras	$f_{c0,m}$	82,90	MPa
Res. característica à compressão paralela as fibras	$f_{c0,k}$	58,03	MPa
Kmod 1- Classe de carregamento	Permanente	0,60	
Kmod 2 - Classe de umidade	2	1,00	
kmod 3 - Categoria	2	0,80	
Kmod	$K_{mod 1} \cdot K_{mod 2} \cdot K_{mod 3}$	0,48	
Res. de cálculo à compressão paralela as fibras	$f_{c0,d}$	1,99	kN/cm <sup>2</sup>
Modulo de elasticidade efetivo	$E_{c0,ef}$	10911,84	MPa
Esbeltezes			
Seção	b	6,00	cm
	h	13,00	cm
Eixo x	$l_o$	170,00	cm
	$r_x$	3,75	cm
	$\lambda_x$	45,30	
	Verificação $40 \leq \lambda \leq 80$	Medianamente esbelta	
Eixo y	$l_o$	170,00	cm
	$r_y$	1,73	cm



	$\lambda_y$	98,15	
	Verificação $40 \leq \lambda \leq 80$	Esbelta	
<b>Verificação de resistência</b>			
Compressão	Nk	47,92	kN
	Nd	67,09	kN
	A	78,00	cm <sup>2</sup>
	$\sigma_{Nc0,d}$	0,86	kN/cm <sup>2</sup>
	$\sigma_{Nc0,d} \leq f_{c0,d}$	Ok	
Flexocompressão	$\sigma_{Nc0,d}$	0,86	kN/cm <sup>2</sup>
	$f_{c0,d}$	1,99	kN/cm <sup>2</sup>
	$(\sigma_{Nc0,d}/f_{c0,d})^2 \leq 1$	0,19	Ok
<b>Verificação de estabilidade em torno dos eixos x e y</b>			
	Wx	169,00	cm <sup>3</sup>
	Wy	78,00	cm <sup>3</sup>
	Ix	1098,50	cm <sup>4</sup>
	Iy	234,00	cm <sup>4</sup>
Eixo x	ea	0,57	cm
	ei	0,43	cm
	e1	1,00	cm
	FEx	4093,55	kN
	ed	1,02	cm
	Mdx	68,21	kN.cm
	$\sigma_{Mx,d}$	0,40	kN/cm <sup>2</sup>
Verificação	$\leq 1,0$	0,64	Ok
Eixo y	ea	0,57	cm
	ei	0,20	cm
	eig	0,00	cm
	Ø	0,80	
	Ngk	4,94	kN
	Nqk	1,70	kN
	$\psi_1$	0,60	
	$\psi_2$	0,40	
	FEy	872,00	kN
	ec	0,21	cm
	e1,ef	0,98	cm
	Mdy	70,89	kN.cm
	$\sigma_{My,d}$	0,91	kN/cm <sup>2</sup>
Verificação	$\leq 1,0$	0,89	Ok

BARRAS TRACIONADAS			
Características da madeira			
Peça	Barra da treliça	Nº	7
Res. média à tração paralela as fibras	ft0,m	138,50	MPa
Res. característica à tração paralela as fibras	fto,k	96,95	MPa
Modulo de elasticidade médio	Ec0,m	19500,00	MPa
Modulo de elasticidade efetivo	Ec0,ef	13650,00	MPa
Kmod 1- Classe de carregamento	Permanente	0,60	
Kmod 2 - Classe de umidade	2	1,00	
Kmod 3 - Categoria	2	0,80	
Kmod	Kmod 1 * Kmod 2 * Kmod 3	0,48	
Res. de cálculo à tração paralela as fibras	ft0,d	2,59	kN/cm²
Esbeltezes			
Seção	b	6,00	cm
	h	13,00	cm
Eixo x	lo	169,00	cm
	rx	3,75	cm
	λx	45,03	
	Verificação λ≤170	Ok	
Eixo y	lo	169,00	cm
	ry	1,73	cm
	λy	97,57	
	Verificação λ≤170	Ok	
Verificação de resistência à tração			
	Nk	45,62	kN
	Nd	63,87	kN
	A (bruta)	78,00	cm²
	d (diâmetro)	25,00	mm
	A (líquida)	46,8	cm²
	σNt0,d	1,36	kN/cm²
	σNt0,d≤ft0,d	Ok	
Flexotração	σNt,0d	1,36	kN/cm²
	ft0,d	2,59	kN/cm²
	σNt0,d/ft0,d ≤ 1	0,53	Ok

**ANEXO IB – DIMENSIONAMENTO CONFORME A VERSÃO DE 2022**

<b>DIMENSIONAMENTO DAS TERÇAS</b>			
<b>Características da madeira</b>			
Peça		Terça	
Modúlo de elasticidade médio	Ec0,m	19500,00	MPa
Res. característica à compressão paralela as fibras	fc0,k	60,00	MPa
Res. característica ao cisalhamento	fv0,k	8,00	MPa
Kmod 1- Classe de carregamento	Permanente	0,60	
Kmod 2 - Classe de umidade	2	0,90	
Kmod	Kmod 1 * Kmod 2	0,54	
Res. de cálculo perpendicular as fibras	fc90,d	0,58	kN/cm²
Modúlo de elasticidade efetivo	Ec0,ef	10530,00	MPa
Res. de cálculo à compressão paralela as fibras	fc0,d	2,31	kN/cm²
Res. de cálculo ao cisalhamento	fv0,d	0,24	kN/cm²
Res. de cálculo à flexão	fm,d	2,31	kN/cm²
<b>Cálculo dos esforços</b>			
Inclinação	i	10,00	%
Vão (distância entre tesouras - eixo a eixo)	L	4,00	m
Distância entre as terças (eixo a eixo)	d	1,70	m
Carga do telhado distribuida	p	0,72	kN/m²
Carga distribuida nas terças	pc	1,46	kN/m
Angulo de inclinação	θ	5,71	°
Carga no eixo x	px	0,15	kN/m
Carga no eixo y	py	1,45	kN/m
<b>Geometria da peça</b>			
Vão (distância entre tesouras)	L	400,00	cm
Base	b	6,00	cm
Altura	h	18,00	cm
Área da seção transversal	A	108,00	cm²
Inércia (eixo x)	Ix	2916,00	cm⁴
Inércia (eixo y)	Iy	324,00	cm⁴
<b>Direção X (em torno)</b>			
Comprimento destravado em x	Lefx	2,00	m
	Mmáx,y	0,07	kN.m
	Vmáx,x	0,15	kN
<b>Direção Y (em torno)</b>			
Comprimento destravado em y	Lefy	4,00	m
	Mmáx,x	2,91	kN.m
	Vmáx,y	2,91	kN
<b>Esforços de cálculo</b>			
	Mxd	406,77	kN.cm

	Myd	10,17	kN.cm
	Vxd	0,20	kN
	Vyd	4,07	kN
Flexão simples oblíqua			
	Wx	324,00	cm³
	Wy	108,00	cm³
	σMx,d	1,26	kN/cm²
	σMy,d	0,09	kN/cm²
	Km	0,70	
	fmd	2,31	kN/cm²
Verificação	≤1	0,57	Ok
Verificação	≤1	0,42	Ok
Compressão perpendicular			
	fc90,d	0,58	kN/cm²
	Rd	4,07	kN
	b	6,00	cm
	c	7,00	cm
	σc90,d	0,10	kN/cm²
Verificação	σc90,d ≤ fc90,d (kN/cm²)	Ok	
Cisalhamento			
	txd	0,003	kN/cm²
	tyd	0,056	kN/cm²
	τ	0,057	kN/cm²
	fv0,d	0,240	kN/cm²
Verificação	τd ≤ fv0,d (kN/cm²)	Ok	
Flambagem lateral			
Verificação	L1 (Travamento)	200,00	cm
	Base (b)	6,00	cm
	βm	12,30	
	Ec0,ef	10530,00	MPa
	fm,d	23,14	MPa
	L1/b	33,33	
	Eco,ef/βm*fm,d	36,99	
Verificação	L1/b<=Eco,ef/βm*fmd	Ok	
Flecha (Estado Limite de Serviço)			
δlim=L/200	Coeficiente de fluência	Ø= 0,80	
	Ix	2916,00	cm⁴
	Iy	324,00	cm⁴
	δ max x	0,05	cm
	δ max y	0,85	cm
	δ final x	0,09	cm

	$\delta$ final y	1,53	cm
	$\delta$ limx	1,00	cm
	$\delta$ limy	2,00	cm
	Verificação em x	Ok	
	Verificação em y	Ok	

BARRAS COMPRIMIDAS			
Características da madeira			
Peça	Barra da treliça	Nº	25
Modúlo de elasticidade médio	Ec0,m	19500,00	MPa
Modúlo de elasticidade característico	E0,05	13650,00	MPa
Res. característica à compressão paralela as fibras	fc0,k	60,00	MPa
Kmod 1- Classe de carregamento	Permanente	0,60	
Kmod 2 - Classe de umidade	2	0,90	
Kmod	Kmod 1 * Kmod 2	0,54	
Res. de cálculo à compressão paralela as fibras	fc0,d	2,31	kN/cm²
Res. de cálculo à flexão	fm,d	2,31	kN/cm²
Esbeltezes			
Seção	b	10,00	cm
	h	20,00	cm
Eixo x	lo	170,00	cm
	rx	5,77	cm
	λx	29,44	
	Verificação λ≤140	Ok	
Eixo y	lo	170,00	cm
	ry	2,89	cm
	λy	58,89	
	Verificação λ≤140	Ok	
Esbeltezes relativas			
Eixo x	λrelx	0,62	
	Verificação λrelx≤0,3	Verificar a estabilidade	
Eixo y	λrely	1,24	
	Verificação λrely≤0,3	Verificar a estabilidade	
Verificação de resistência			
Compressão	Nk	45,90	kN
	Nd	64,26	kN
	A	200,00	cm²
	σNc0,d	0,32	kN/cm²
	σNc0,d≤fc0,d	Ok	
Flexocompressão	σNc0,d	0,32	kN/cm²
	fc0,d	2,31	kN/cm²
	(σNc0,d/fc0,d)² ≤ 1	0,02	Ok
Verificação de estabilidade			
Cálculo dos coeficientes	ϕc	0.20	

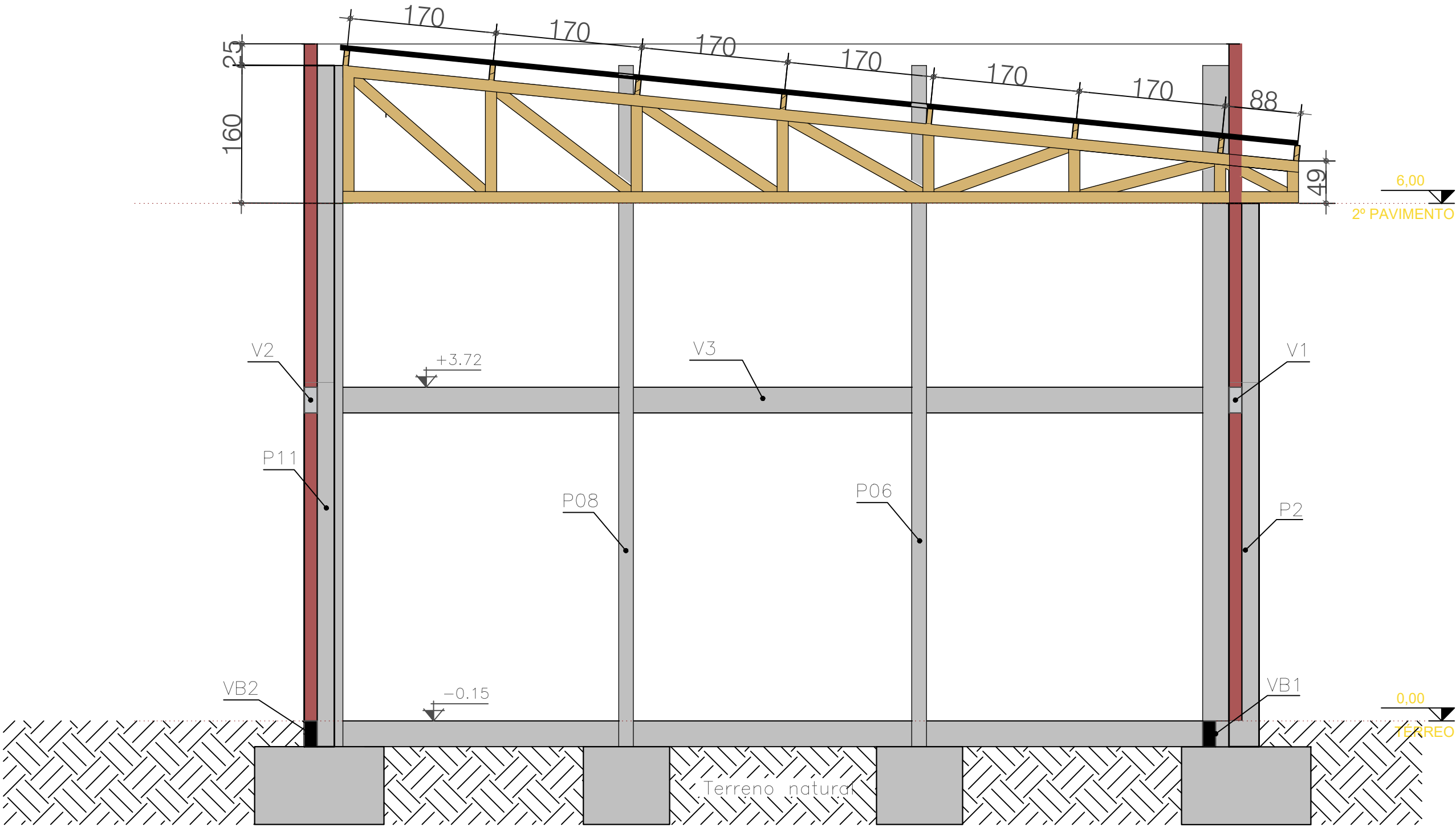
	$k_x$	0,72	
	$k_y$	1,36	
	$K_{cx}$	0,92	
	$K_{cy}$	0,52	
Verificação no eixo x	$\sigma_{Nc,d} / k_{cx} \cdot f_{c0,d} \leq 1$	0,15	Ok
Verificação no eixo y	$\sigma_{Nc,d} / k_{cy} \cdot f_{c0,d} \leq 1$	0,27	Ok

BARRAS TRACIONADAS			
Características da madeira			
Peça	Barra da treliça	Nº	7
Modúlo de elasticidade médio	Ec0,m	19500,00	MPa
Modúlo de elasticidade característico	E0,05	13650,00	MPa
Kmod 1- Classe de carregamento	Permanente	0,60	
Kmod 2 - Classe de umidade	2	0,90	
Kmod	Kmod 1 * Kmod 2	0,54	
Res. de cálculo à tração paralela as fibras	ft0,d = fc0,d	2,31	kN/cm²
Esbeltezes			
Seção	b	6,00	cm
	h	13,00	cm
Eixo x	lo	169,00	cm
	rx	3,75	
	λx	45,03	
	Verificação λ≤170	Ok	
Eixo y	lo	169,00	cm
	ry	1,73	
	λy	97,57	
	Verificação λ≤170	Ok	
Verificação de resistência à tração			
	Nk	43,70	kN
	Nd	61,18	kN
	A (bruta)	78,00	cm²
	d (diâmetro)	25,00	mm
	A (líquida)	46,80	cm²
	σNt0,d	1,31	kN/cm²
	σNt0,d≤ft0,d	Ok	
Flexotração	σNt,0d	1,31	kN/cm²
	ft0,d	2,31	kN/cm²
	σNt0,d/ft0,d ≤ 1	0,57	Ok

## ANEXO II – VALORES MÉDIOS DE MADEIRAS DICOTILEDÔNEAS NATIVAS E DE FLORESTAMENTO, CONFORME A TABELA E.2 DA NBR 7190:1997

Tabela E.2 - Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento								
Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}^{1)}$ kg/m <sup>3</sup>	$f_{c0}^{2)}$ MPa	$f_{t0}^{3)}$ MPa	$f_{t90}^{4)}$ MPa	$f_v^{5)}$ MPa	$E_{c0}^{6)}$ MPa	$n^{7)}$ n
<i>E. Saligna</i>	<i>Eucalyptus saligna</i>	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14 933	67
<i>E. Tereticornis</i>	<i>Eucalyptus tereticornis</i>	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17 198	29
<i>E. Triantha</i>	<i>Eucalyptus triantha</i>	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14 617	08
<i>E. Umbra</i>	<i>Eucalyptus umbra</i>	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14 577	08
<i>E. Urophylla</i>	<i>Eucalyptus urophylla</i>	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13 166	86
Garapa Roraima	<i>Apuleia leiocarpa</i>	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18 359	12
Guaiçara	<i>Luetzelburgia spp</i>	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14 624	11
Guaruaia	<i>Peltophorum vogelianum</i>	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17 212	13
Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>	1 068	76,0	96,8	3,1	13,1	18 011	22
Jatobá	<i>Hymenaea spp</i>	1 074	93,3	157,5	3,2	15,7	23 607	20
Louro preto	<i>Ocotea spp</i>	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14 185	24
Maçaranduba	<i>Manilkara spp</i>	1 143	82,9	138,5	5,4	14,9	22 733	12
Mandioqueira	<i>Qualea spp</i>	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18 971	16
Oiticica amarela	<i>Clarisia racemosa</i>	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14 719	12
Quarubarana	<i>Erisma uncinatum</i>	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9 067	11
Sucupira	<i>Diploptropis spp</i>	1 106	95,2	123,4	3,4	11,8	21 724	12
Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19 583	10
<sup>1)</sup> $\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade. <sup>2)</sup> $f_{c0}$ é a resistência à compressão paralela às fibras. <sup>3)</sup> $f_{t0}$ é a resistência à tração paralela às fibras. <sup>4)</sup> $f_{t90}$ é a resistência à tração normal às fibras. <sup>5)</sup> $f_v$ é a resistência ao cisalhamento. <sup>6)</sup> $E_{c0}$ é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras. <sup>7)</sup> $n$ é o número de corpos-de-prova ensaiados. NOTAS 1 Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais $\delta = 18\%$ . 2 Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais $\delta = 28\%$ .								

Fonte: ABNT NBR 7190:1997.



CORTE BB - ESTRUTURAL

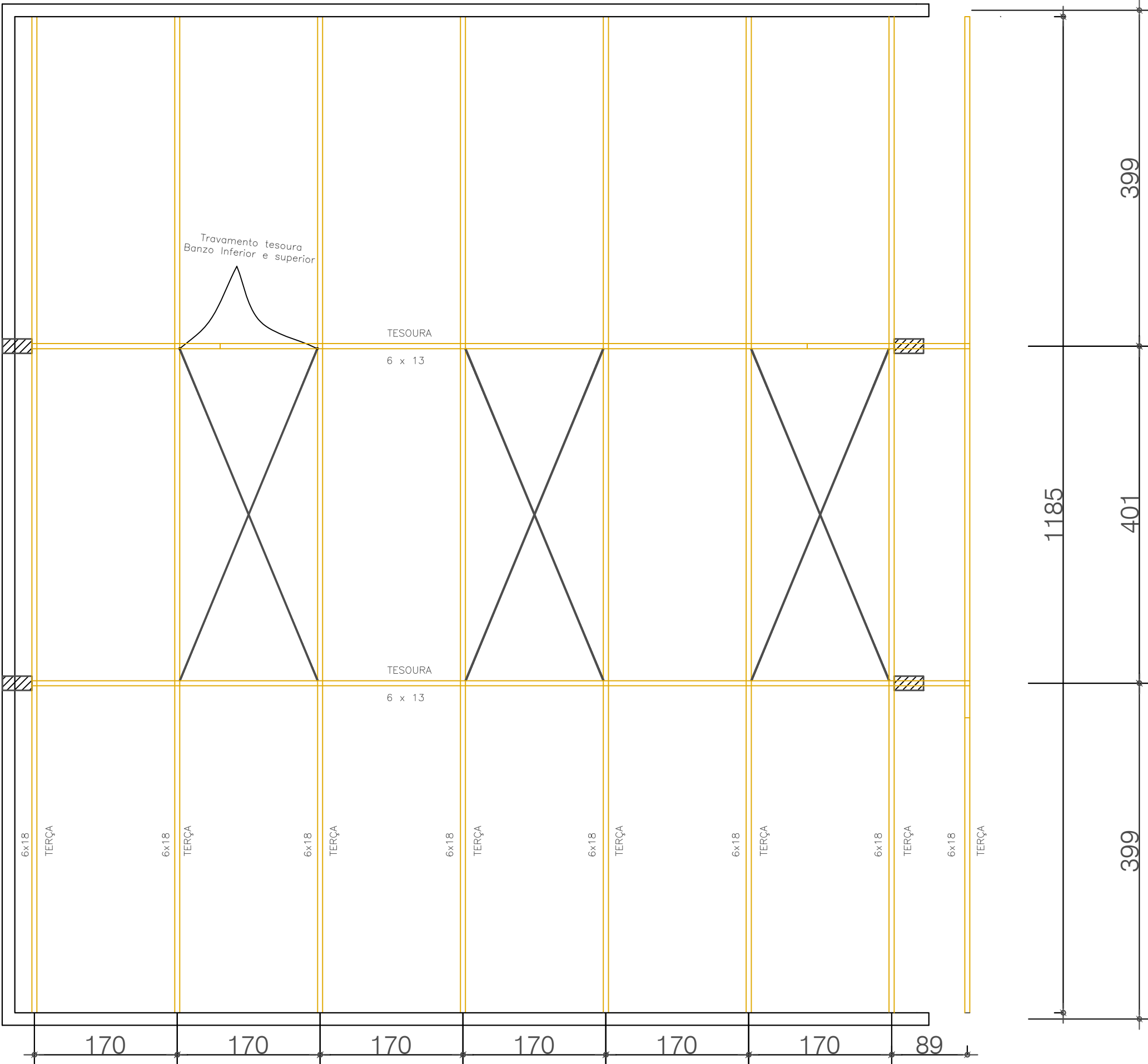
Esc 1:50

-DIMENSÕES EM CM

Autor do projeto LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES	Responsável técnico	Ambiente: AUDITÓRIO	Local do projeto: CTU - UESPI	
		Conteúdo: CORTE AA-ESTRUTURAL	Escala: 1:50	Desenho: 01/04



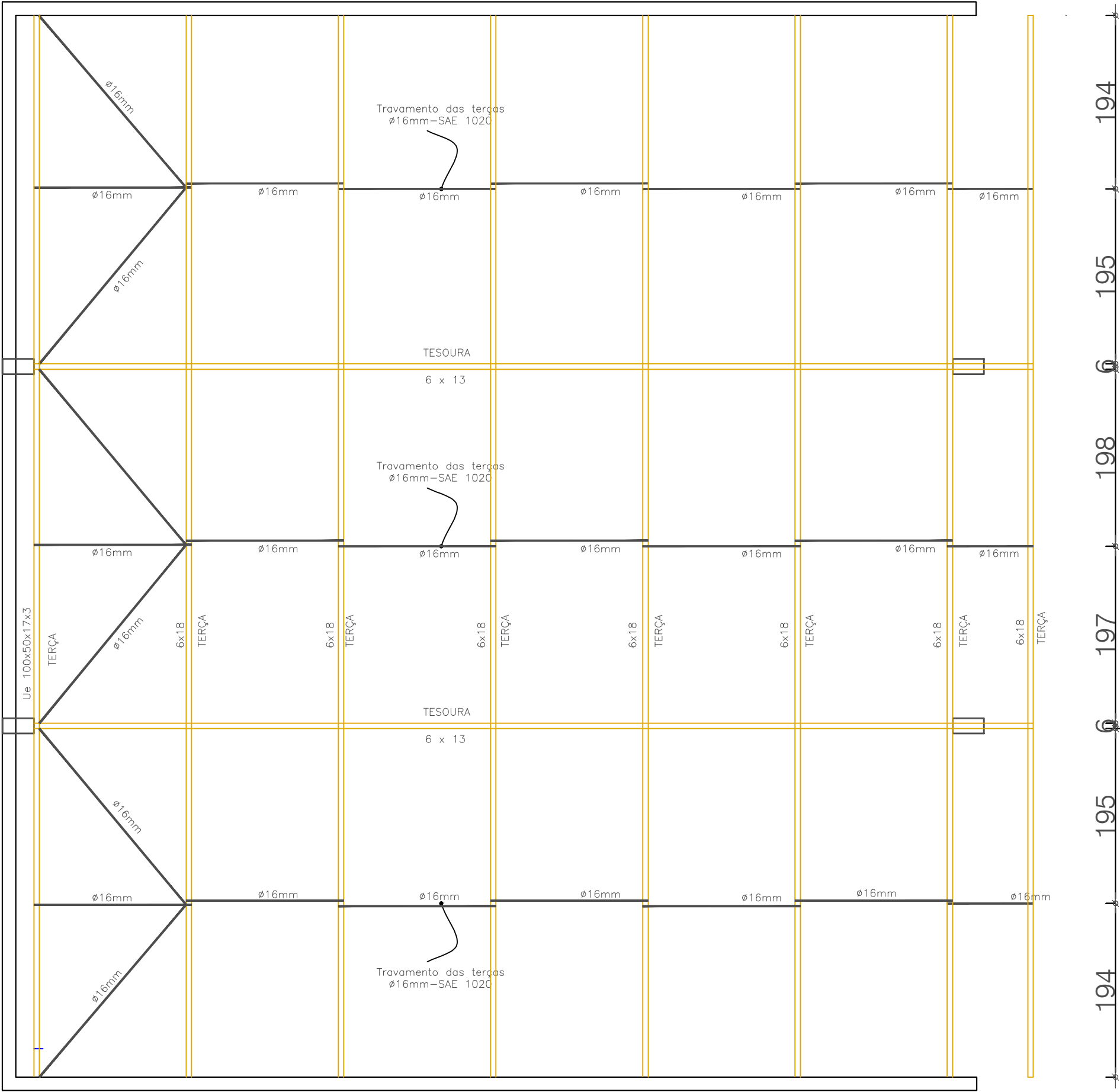
-DIMENSÕES EM  
CM



ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA-TRAVAMENTO  
TESOURA - BANZO INFERIOR E SUPERIOR (2x)

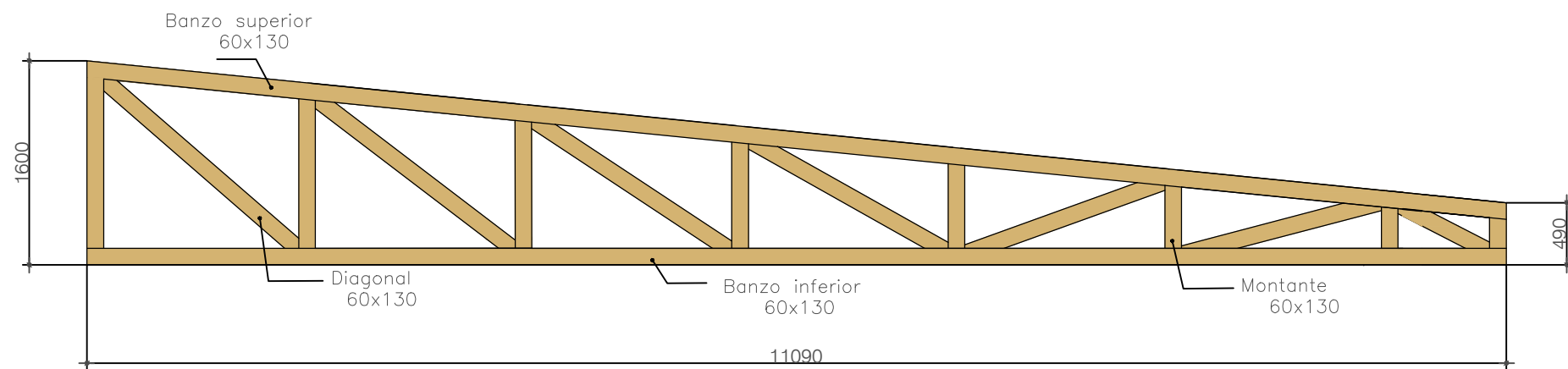
Autor do projeto LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES	Responsável técnico	Arquiteto: AUDITÓRIO	Local do projeto: CTU - UESPI	
		Conteúdo: ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA TRAVAMENTO TESOURA	Escala: 1:50 Data: JUN/2025	02/04

-DIMENSÕES EM CM



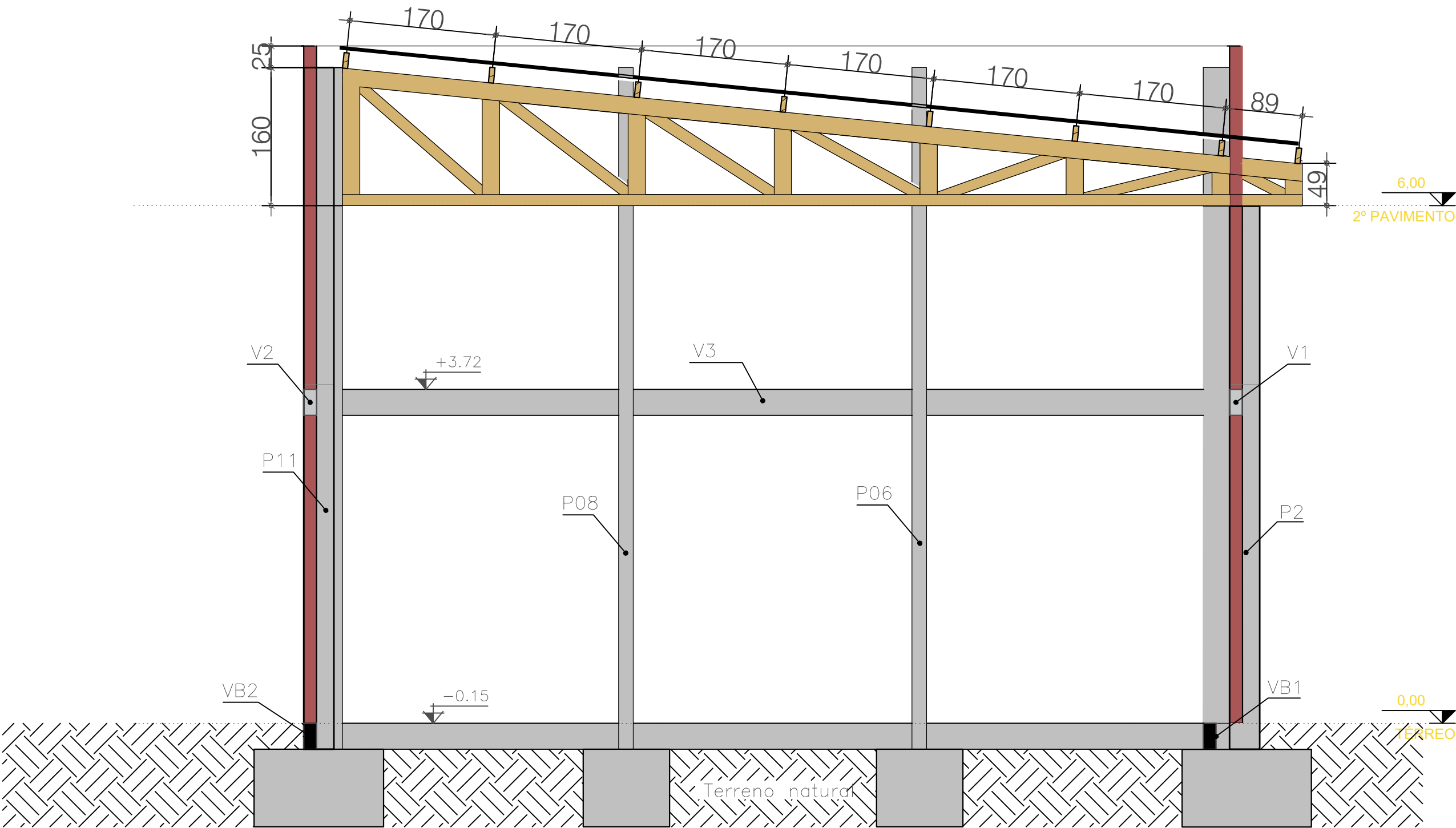
ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA -TRAVAMENTO TERÇAS

Autor do projeto LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES	Responsável técnico	Anterior: AUDITÓRIO	Local do projeto: CTU - UESPI	
		Conteúdo: ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA TRAVAMENTO TERÇAS	Escala: 1:50 Data: JUN/2025	03/04



TESOURA EM MAÇARANDUBA  
ESCALA: 1/25  
DIMENSÕES EM MM

Autor do projeto  LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES	Responsável técnico	Artesão:  AUDITÓRIO	Local do projeto:  CTU - UESPI	
		Conteúdo:  DETALHAMENTO TESOURA DE MADEIRA	Escala: 1:25 Data: JUN/2025	04/04



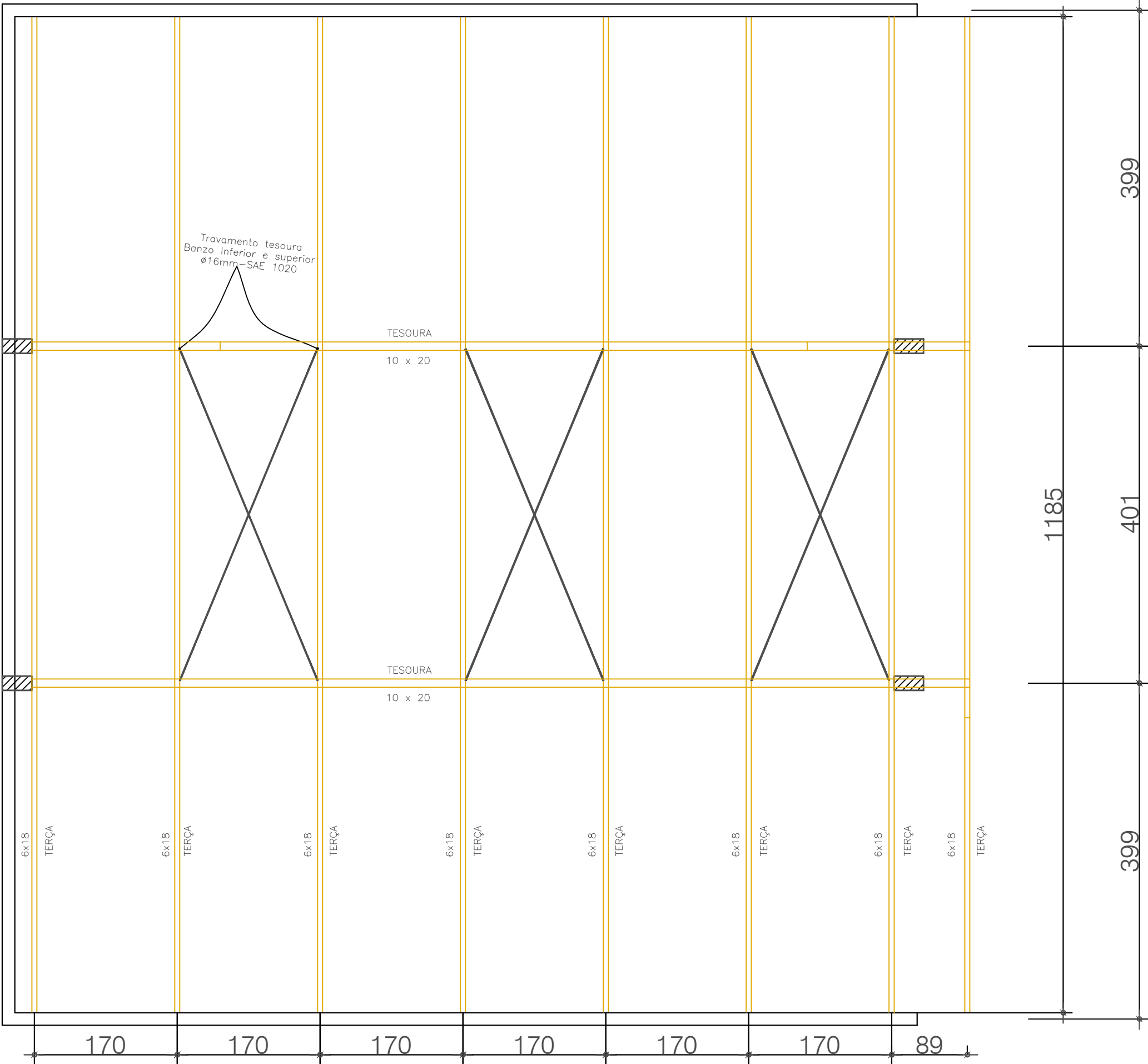
CORTE BB - ESTRUTURAL

Esc 1:50

-DIMENSÕES EM CM

Autor do projeto LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES	Responsável técnico	Área: AUDITÓRIO	Local do projeto: CTU - UESPI	
		Conteúdo: CORTE AA- ESTRUTURAL	Escala: 1:50 Data: JUN/2025	Desenho: 01/04

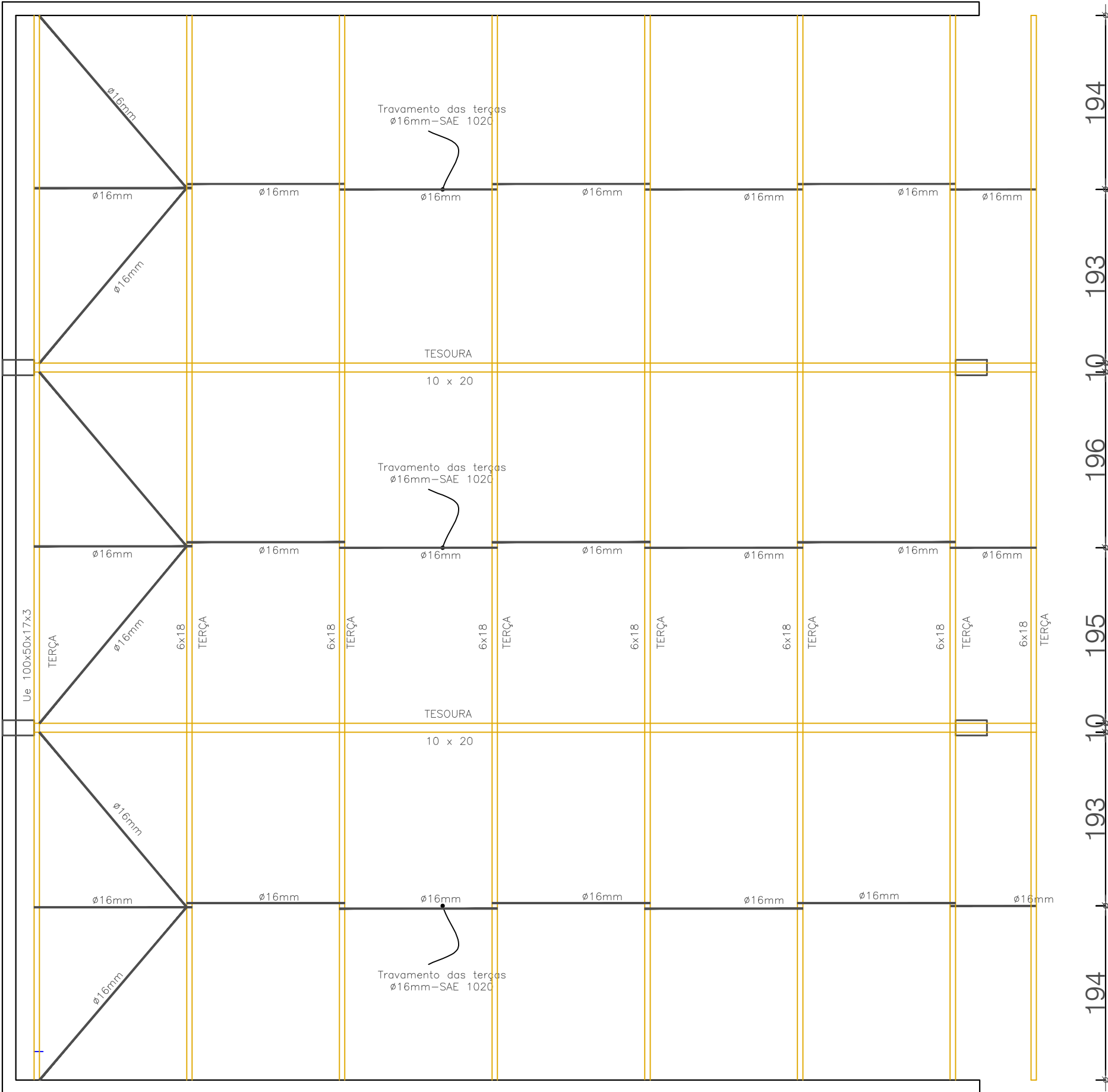
-DIMENSÕES EM  
CM



ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA-TRAVAMENTO  
TESOURA - BANZO INFERIOR E SUPERIOR (2x)

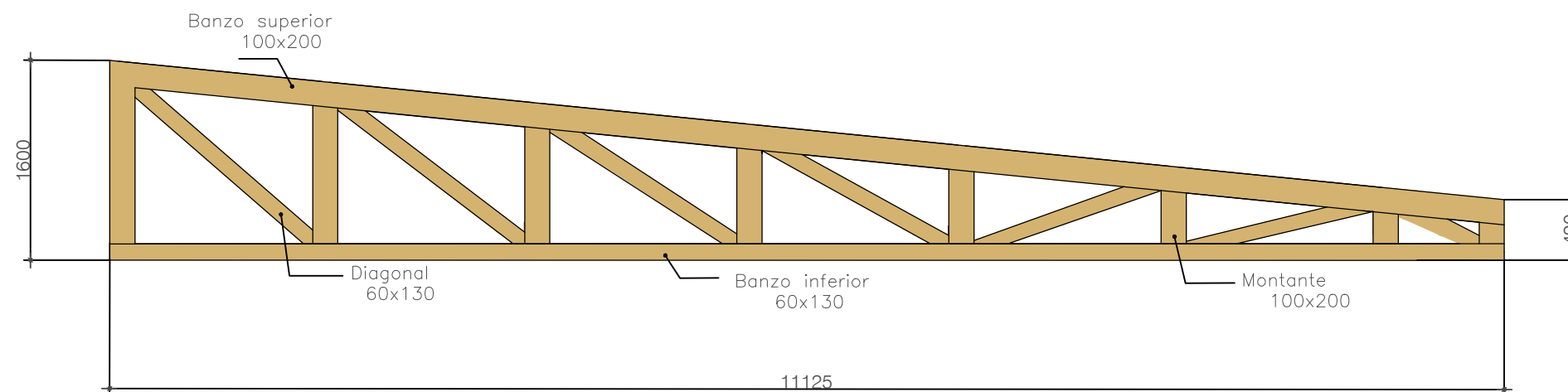
Autor do projeto  LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES	Responsável técnico	Arquiteto:  AUDITÓRIO	Local do projeto:  CTU - UESPI	
		Conteúdo: ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA TRAVAMENTO TESOURA	Escala: 1:50 Data: JUN/2025	02/04

-DIMENSÕES EM  
CM



ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA -TRAVAMENTO TERÇAS

Autor do projeto  LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES	Responsável técnico	Anterior:  AUDITÓRIO	Local do projeto:  CTU - UESPI	
		Conteúdo:  ESTRUTURA DE MADEIRA COBERTURA TRAVAMENTO TERÇAS	Escala: 1:50 Data: JUN/2025	03/04



TESOURA EM MAÇARANDUBA  
ESCALA: 1/25  
DIMENSÕES EM MM

Autor do projeto	Responsável técnico	Artesão	Local do projeto
LUIZ FELLIPE DE SOUSA GUEDES		AUDITÓRIO	CTU - UESPI
		Conteúdo	Escala
		DETALHAMENTO TESOURA DE MADEIRA	1:25
			Data
			JUN/2025

04/04