

---

**Projeto de estruturas de madeira**  
**Parte 1: Critérios de dimensionamento**

*Timber Structures*  
*Part 1: Design criteria*



ICS 91.080.20

ISBN 978-85-07-09142-4



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 7190-1:2022  
81 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

## Sumário

Página

Prefácio .....	ix
Introdução .....	xi
1 Escopo .....	1
2 Referências normativas .....	1
3 Simbologia .....	3
3.1 Letras romanas maiúsculas .....	3
3.2 Letras romanas minúsculas .....	4
3.3 Letras gregas minúsculas .....	6
3.4 Índices gerais .....	7
3.5 Índices formados por abreviações .....	7
3.6 Índices especiais .....	8
4 Requisitos gerais .....	8
4.1 Projeto .....	8
4.2 Memorial justificativo .....	8
4.3 Desenhos .....	8
4.4 Plano de execução .....	9
5 Propriedades da madeira .....	9
5.1 Generalidades .....	9
5.2 Densidade básica e densidade aparente .....	9
5.3 Resistência .....	9
5.4 Rigidez .....	9
5.5 Umidade .....	10
5.6 Condições de referência .....	10
5.6.1 Condição-padrão de referência .....	10
5.6.2 Condições especiais de utilização .....	10
5.7 Caracterização das propriedades das madeiras .....	10
5.7.1 Classes de resistência .....	11
5.7.2 Caracterização da madeira lamelada colada, da madeira compensada e da madeira recomposta .....	13
5.8 Valores representativos .....	13
5.8.1 Valores médios .....	13
5.8.2 Valores característicos .....	13
5.8.3 Valores de cálculo .....	13
5.8.4 Coeficientes de modificação .....	14
5.8.5 Coeficientes de minoração da resistência para estados-limites último .....	15
5.8.6 Coeficiente de ponderação para estados-limite de serviço .....	15
5.8.7 Estimativa da resistência característica e módulo de elasticidade .....	15
6 Estados-limite últimos .....	16
6.1 Esforços atuantes em estados-limite últimos .....	16
6.2 Esforços resistentes em estados-limite últimos .....	17
6.2.1 Critérios gerais .....	17

6.2.2	Tração paralela às fibras .....	17
6.2.3	Tração perpendicular às fibras .....	17
6.2.4	Compressão perpendicular às fibras .....	17
6.2.5	Resistência de embutimento .....	18
6.2.6	Valores de cálculo da resistência .....	18
6.2.7	Peças de seção circular .....	19
6.2.8	Resistência às tensões normais inclinadas em relação às fibras da madeira .....	19
6.3.1	Generalidades .....	19
6.3.2	Tração .....	20
6.3.3	Compressão .....	20
6.3.4	Flexão simples reta .....	21
6.3.5	Flexão simples oblíqua .....	21
6.3.6	Flexotração .....	22
6.3.7	Flexocompressão .....	22
6.4	Cisalhamento .....	22
6.4.1	Cisalhamento nas ligações .....	22
6.4.2	Cisalhamento longitudinal em vigas .....	23
6.4.3	Redução da força cortante próxima aos apoios .....	23
6.4.4	Vigas entalhadas de seção retangular .....	24
6.4.5	Torção .....	24
6.5	Estabilidade .....	24
6.5.1	Generalidades .....	24
6.5.2	Condições de alinhamento das peças .....	24
6.5.3	Esbeltez .....	25
6.5.4	Esbeltez relativa .....	26
6.5.5	Condição de estabilidade de peças comprimidas e flexocomprimidas .....	26
6.5.6	Estabilidade lateral das vigas de seção retangular .....	27
6.5.7	Estabilidade lateral das vigas de seção não retangular .....	27
6.6	Estabilidade global – Contraventamento .....	27
6.6.1	Generalidades .....	27
6.6.2	Contraventamento de peças comprimidas .....	28
6.6.3	Contraventamento do banzo comprimido das peças fletidas .....	29
6.6.4	Estabilidade global de elementos estruturais em paralelo .....	29
6.7	Peças compostas .....	31
6.7.1	Generalidades .....	31
6.7.2	Peças compostas de seção $T$ , $I$ ou caixão, ligadas por pregos .....	31
6.7.3	Peças compostas com alma em treliça .....	33
6.7.4	Peças formadas por lamelas de madeira colada .....	34
6.8	Estabilidade de peças compostas .....	44
6.8.1	Peças solidarizadas continuamente .....	44
6.8.2	Peças solidarizadas descontinuamente .....	44
7	Ligações .....	47
7.1	Generalidades .....	47

7.1.1	Tipos de ligação .....	47
7.1.2	Critério de dimensionamento.....	49
7.1.3	Resistência de embutimento da madeira.....	50
7.1.4	Momento resistente do pino metálico.....	50
7.1.5	Ligações excêntricas .....	50
7.1.6	Ligações com cola .....	50
7.1.7	Efeito de grupo para ligações com pinos .....	50
7.1.8	Ligações com múltiplas seções de corte .....	50
7.1.9	Características dos elementos de ligação.....	51
7.1.10	Espaçamentos entre elementos de ligação.....	52
7.1.11	Pré-furação das ligações.....	54
7.1.12	Rigidez de ligações.....	55
7.2	Resistência característica de ligações de elementos de madeira com pinos metálicos.....	56
7.3	Resistência característica de ligações de elementos de madeira e aço com pinos metálicos.....	61
7.4	Resistência característica de ligações em madeira com anéis metálicos .....	64
7.5	Ligações em madeira com chapas com dentes estampados .....	65
8	Estados-limites de serviço .....	65
8.1	Verificação .....	65
8.2	Valores-limite de deslocamentos.....	66
8.3	Valores-limite de vibrações .....	67
9	Disposições construtivas.....	67
9.1	Disposições gerais.....	67
9.2	Dimensões mínimas.....	68
9.2.1	Dimensões mínimas das seções transversais .....	68
9.2.2	Dimensões mínimas das arruelas .....	68
9.3	Esbeltez máxima .....	68
9.4	Ligações.....	68
9.4.1	Ligações com pinos.....	68
9.4.2	Ligações na madeira lamelada colada .....	68
9.5	Execução.....	69
9.5.1	Disposições gerais.....	69
9.5.2	Contraflechas .....	69
9.6	Classificação das peças .....	69
9.7	Diâmetro equivalente para peças de seção circular variável .....	69
10	Projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira .....	69
10.1	Generalidades.....	69
10.2	Ações.....	70
10.3	Disposições construtivas.....	70
10.3.1	Aspectos geométricos.....	70
10.3.2	Dimensões das seções transversais dos elementos .....	70
10.3.3	Ligações.....	70

10.4	Princípios do projeto estrutural.....	71
10.4.1	Análise simplificada.....	71
10.4.2	Verificação dos estados-limite de serviço.....	71
11	Estruturas de madeira em situação de incêndio.....	71
11.1	Generalidades.....	71
11.2	Método simplificado de dimensionamento.....	72
11.2.1	Modelo de incêndio.....	72
11.2.2	Segurança estrutural .....	72
11.2.3	Resistências de cálculo.....	72
11.2.4	Esforços resistentes de cálculo .....	73
11.2.5	Seção transversal residual da madeira.....	73
11.2.6	Seção transversal residual de painéis de MLCC.....	75
11.3	Ligações com conectores metálicos.....	76
11.4	Dimensionamento de elementos com revestimento de proteção .....	77
12	Durabilidade da madeira.....	78
12.1	Generalidades.....	78
12.2	Preservação da madeira - Sistema de categorias de uso .....	78
12.3	Aplicação do sistema de categorias de uso.....	79
	Bibliografia.....	81

## Figuras

Figura 1 – Denominações dos eixos ortogonais.....	19
Figura 2 – Vigas com entalhes .....	24
Figura 3 – Parâmetros para verificação da estabilidade lateral.....	28
Figura 4 – Arranjo vertical de contraventamento.....	30
Figura 5 – Arranjo horizontal de contraventamento .....	30
Figura 6 – Seções transversais e distribuição de tensões.....	32
Figura 7 – Emendas de topo denteadas.....	36
Figura 8 – Parâmetros geométricos das emendas denteadas.....	36
Figura 9 – Limites de vão entre lamelas e sulcos nas lamelas do MLCC.....	37
Figura 10 – Exemplos de configuração de montagem do painel MLCC .....	38
Figura 11 – Seção transversal mostrando a combinação de lamelas com diferentes módulos de elasticidade à flexão .....	41
Figura 12 – Seção transversal do painel de MLCC designando as dimensões da seção transversal e representação básica das curvas de tensão em um painel simétrico.....	42
Figura 13 – Peças solidarizadas descontinuamente.....	45
Figura 14 – Seções compostas por dois ou três elementos iguais.....	45
Figura 15 – Tração perpendicular às fibras em ligações.....	48
Figura 16 – Ligações com anéis metálicos.....	51
Figura 17 – Espaçamentos em ligações com pinos.....	53
Figura 18 – Espaçamentos em ligações com anéis metálicos .....	54
Figura 19 – Ligação de elementos de madeira com parafusos passantes com porca e arruelas ..	57



Figura 20 – Ligações de elementos de madeira com pregos.....	57
Figura 21 – Ligações de elementos de madeira com parafusos de rosca soberba em corte simples.....	58
Figura 22 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos passantes.....	62
Figura 23 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com pregos em corte simples.....	62
Figura 24 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos de rosca soberba em corte simples.....	63
Figura 25 – Modos de falha para determinação da força característica de ligações com pinos metálicos e chapas de aço.....	64
Figura 26 – Verificação esquemática dos deslocamentos-limite.....	67
Figura 27 – Posição do diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ) para peças de seção circular variável.....	70
Figura 28 – Seção residual da madeira em situação de incêndio.....	74
Figura 29 – Tipos de carbonização.....	75
Figura 30 – Arranjo da fixação dos revestimentos de sacrifício.....	76
Figura 31 – Modelo de taxa de carbonização bilinear.....	76
Figura 32 – Método para proteção de conectores.....	77
Figura 33 – Seção e definição das distâncias.....	77
Figura 34 – Fluxograma de preservação.....	80

## Tabelas

Tabela 1 – Classes de umidade.....	10
Tabela 2 – Classes de resistência de espécies de florestas nativas definidas em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos.....	11
Tabela 3 – Classes de resistência definidas em ensaios de peças estruturais.....	12
Tabela 4 – Definição de classes de carregamento e valores de $k_{mod1}$ .....	14
Tabela 5 – Valores de $k_{mod2}$ .....	14
Tabela 6 – Valores de $\alpha_n$ .....	17
Tabela 7 – Valores dos coeficientes $K_E$ .....	25
Tabela 8 – Coeficiente de correção $\beta_M$ para $\gamma_f = 1,4$ e $\beta_E = 4$ .....	27
Tabela 9 – Valores de $\alpha_m$ .....	29
Tabela 10 – Pressão de colagem das ligações de continuidade das lamelas.....	39
Tabela 11 – Fatores de modificação $C_t$ .....	40
Tabela 12 – Fator $\eta$ .....	46
Tabela 13 – Materiais usados em pinos metálicos.....	51
Tabela 14 – Espaçamentos mínimos para ligações com pinos.....	52
Tabela 15 – Diâmetro de pré-furação para ligações em madeira.....	54
Tabela 16 – Valores de $K_{ser}$ para conectores em N/mm.....	55
Tabela 17 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (uma seção de corte).....	58

Tabela 18 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (duas seções de corte) (continua).....59

Tabela 19 – Coeficiente de fluência ( $\phi$ ).....66

Tabela 20 – Valores-limite de deslocamentos para elementos correntes fletidos .....67

Tabela 21 – Valores de  $k_{fi}$ .....74

Tabela 22 – Determinação de  $K_0$  para superfícies sem proteção, com t em minutos .....74

Tabela 23 – Taxas de carbonização para superfícies sem revestimento  $\beta_0$  e  $\beta_n$ .....75

Tabela 24 – Categorias de uso da madeira .....79



Exemplar para uso exclusivo - URBEM S.A. - 32.185.496/0001-01 (Pedido 839583 Impresso: 11/07/2022)



## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 7190-1 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (CE-002:126.010). O Projeto de Revisão circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 12, de 21.12.2021 a 20.02.2022.

A ABNT NBR 7190-1:2022 cancela e substitui a ABNT NBR 7190:1997, a qual foi tecnicamente revisada.

A ABNT NBR 7190-1:2022 não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, bem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data, devendo, neste caso, ser utilizada a versão anterior da ABNT NBR 7190:1997.

Esta Norma circulou na Consulta Nacional com a numeração ABNT NBR 7190. Por consenso, a CE-002:126.010 decidiu pela manutenção da numeração original para facilitar a associação ao número, e o documento foi publicado como ABNT NBR 7190-1.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 7190-1 é o seguinte:

## Scope

*This Standard establishes the general requirements for the design and execution of wooden structures, including structures formed by flat shears, parallel or not, with nailed, screwed connections or executed with stamped teeth plates.*

*This Standard covers the principles and requirements of the limit state method including durability and fire conditions, and presents calculation criteria for the design and verification of wooden structural elements for structural safety.*

*This Standard applies to solid wood structures (sawn or round), glued laminated wood, structural wood panels and wood-based structural products, with structural elements joined by adhesives or mechanical connectors.*

*This Standard does not apply to the visual and mechanical classification of wood for structures, the characterization of wood, the tests of connections and structural products such as glued laminated wood beams and cross glued laminated wood panels.*

*NOTE 1 The visual and mechanical classification of wood is specified in ABNT NBR 7190-2 and the mechanical characterization of wood for structural design is specified in ABNT NBR 7190-3 and ABNT NBR 7190-4.*

*NOTE 2 Mechanical connections in wooden structures are specified in ABNT NBR 7190-5, structural glued laminated wood beams are specified in ABNT NBR 7190-6 and cross glued laminated wood panels are specified in ABNT NBR 7190-7.*



## Introdução

A primeira Norma Brasileira para o Projeto de Estruturas de Madeira foi publicada em 1951 como NB-11, *Cálculo e execução de estruturas de madeira*, que tinha como método de segurança o Método das Tensões Admissíveis e era composta de 16 páginas sem Anexos. Em fevereiro de 1982, a NB-11 foi adequada, sem alterações técnicas, e se tornou a ABNT NBR 7190, *Cálculo e execução de estruturas de madeira*.

Em 1992, foi iniciado o estudo de um projeto de Norma em estruturas de madeira que trouxe profundas alterações nos conceitos relativos ao projeto de Estruturas de Madeira. Esta revisão foi aprovada e publicada como ABNT NBR 7190:1997. De uma abordagem determinística de tensões admissíveis passou-se para uma abordagem probabilística de estados-limite, sendo que o projeto de estruturas de madeira passou a seguir os mesmos caminhos que os trilhados pelo projeto de estruturas de concreto e de aço.

Tendo em vista o aspecto de transição, além do texto normativo principal, foram elaborados seis Anexos que tratam respectivamente do desenho das estruturas de madeira, dos métodos de ensaio para determinação de resistência e elasticidade das madeiras, dos métodos de ensaio para a determinação da resistência de ligações mecânicas das estruturas de madeira, das recomendações sobre a durabilidade da madeira, dos valores médios usuais de resistência e rigidez de algumas espécies nativas e de florestas plantadas e da calibração dos coeficientes de segurança adotados na ABNT NBR 7190.

Em 2002, foi iniciado o estudo de revisão da ABNT NBR 7190:1997 com a finalidade de atualização dos critérios de dimensionamento com base em ensaios de novos materiais e ligações bem como em experiências de projetos de estruturas de madeira com base nesta Norma.

A parte correspondente às ações foi excluída, por já existir uma norma que trata deste assunto. Incluíram-se novos coeficientes de modificação da resistência em função dos novos ensaios com peças estruturais e um novo critério para a análise da estabilidade de peças comprimidas e flexocomprimidas. Os coeficientes foram ajustados para o dimensionamento de peças compostas e múltiplas, os Anexos foram excluídos, Normas com novos métodos de ensaios foram elaboradas, também foram acrescentadas as recomendações para a segurança em situação de incêndio e uma nova categoria mais detalhada das classes de uso da madeira com ênfase na durabilidade do material. Esta revisão foi concluída em 2012, porém, era necessária a aprovação e publicação dos métodos de ensaios especificados nesta Norma, por ser referência para outras estruturas como por exemplo, Wood Frame, Formas e Escoramentos, Madeira Serrada entre outras. As Normas de métodos de ensaio têm a previsão de serem publicadas conforme a seguir:

ABNT NBR 7190-2, *Estruturas de madeira – Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira*

ABNT NBR 7190-3, *Estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos paramadeiras de florestas nativas*

ABNT NBR 7190-4, *Estruturas de madeira – Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização de peças estruturais*

ABNT NBR 7190-5, *Estruturas de madeira – Parte 5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos*

ABNT NBR 7190-6, *Estruturas de madeira – Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural*

ABNT NBR 7190-7, *Estruturas de madeira – Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural*



# Projeto de estruturas de madeira

## Parte 1: Critérios de dimensionamento

### 1 Escopo

Esta Norma estabelece os requisitos gerais de projeto e execução de estruturas de madeira incluindo as estruturas formadas por tesouras planas, paralelas ou não, com ligações pregadas, parafusadas ou executadas com chapas de dentes estampados.

Esta Norma abrange os princípios e requisitos do método dos estados-limite incluindo a durabilidade e a situação de incêndio, e apresenta critérios de cálculo para o dimensionamento e a verificação de elementos estruturais de madeira para a segurança estrutural.

Esta Norma se aplica para estruturas de madeira sólida (serrada ou roliça), madeira lamelada colada, painéis estruturais de madeira e produtos estruturais à base de madeira, com elementos estruturais unidos por adesivos ou conectores mecânicos.

Esta Norma não se aplica a classificação visual e mecânica de madeiras para estruturas, a caracterização de madeiras, os ensaios de ligações e os produtos estruturais como vigas de madeira lamelada colada e painéis de madeira lamelada colada cruzada.

NOTA 1 A classificação visual e mecânica de madeiras são especificadas na ABNT NBR 7190-2 e a caracterização mecânica das madeiras para projeto de estruturas é especificada nas ABNT NBR 7190-3 e ABNT NBR 7190-4.

NOTA 2 As ligações mecânicas em estruturas de madeira são especificadas na ABNT NBR 7190-5, as vigas de madeira lamelada colada estrutural são especificadas na ABNT NBR 7190-6 e os painéis de madeira lamelada colada cruzada são especificados na ABNT NBR 7190-7.

### 2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 5628, *Componentes construtivos estruturais – Determinação de resistência ao fogo*

ABNT NBR 6120, *Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento*

ABNT NBR 6123, *Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento*

ABNT NBR 5589, *Arame de aço de baixo teor de carbono – Requisitos*

ABNT NBR 7808, *Símbolos gráficos para projeto de estruturas*

ABNT NBR 8681, *Ações e segurança nas estruturas – Procedimento*

ABNT NBR 8800, *Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios*

ABNT NBR 10067, *Princípios gerais de representação em Desenho Técnico*



ABNT NBR 15696, *Formas e escoramentos para estruturas de concreto – Projeto, dimensionamento e procedimentos executivos*

ABNT NBR 16143, *Preservação de madeiras – Sistema de categorias de uso*

ABNT NBR 7190-2, *Estruturas de madeira – Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira*

ABNT NBR 7190-3, *Estruturas de madeira – Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos paramadeiras de florestas nativas*

ABNT NBR 7190-4:2022, *Estruturas de madeira – Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização de peças estruturais*

ABNT NBR 7190-5, *Estruturas de madeira – Parte 5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos*

ABNT NBR 7190-6, *Estruturas de madeira – Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural*

ABNT NBR 7190-7, *Estruturas de madeira – Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural*

ABNT NBR ISO 1096, *Madeira compensada – Classificação*

ABNT NBR ISO 1954, *Madeira compensada – Tolerâncias dimensionais*

ABNT NBR ISO 2074, *Madeira compensada – Vocabulário*

ABNT NBR ISO 2426-1, *Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 1: Geral*

ABNT NBR ISO 2426-2, *Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 2: Folhosas*

ABNT NBR ISO 2426-3, *Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial – Parte 3: Coníferas*

ABNT NBR ISO 12466-1, *Madeira Compensada – Qualidade de Colagem – Parte 1: Métodos de ensaios*

ABNT NBR ISO 12466-2, *Madeira compensada – Qualidade de colagem – Parte 2: Requisitos*

ANSI CSA S347, *Method Of Test For Evaluation Of Truss Plates Used In Lumber Joints*

ASTM A307, *Standard Specification for Carbon Steel Bolts, Studs, and Threaded Rod 60 000 PSI Tensile Strength*

ASTM A325, *Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength*

ASTM A490, *Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength*

EN 301, *Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures. Classification and performance requirements*

EN 520, *Gypsum plasterboards. Definitions, requirements and test methods*

EN 1995-1-1, *Eurocode 5: Design of timber structures General. Common rules and rules for buildings*

EN 15425, *Adhesives. One component polyurethane (PUR) for load-bearing timber structures. Classification and performance requirements*

EN 16254, *Adhesives. Emulsion polymerized isocyanate (EPI) for load-bearing timber structures. Classification and performance requirements*

ISO 898-1, *Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel – Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes – Coarse thread and fine pitch thread*

### 3 Simbologia

Para os efeitos deste documento, aplica-se a seguinte simbologia.

#### 3.1 Letras romanas maiúsculas

$A$	Área
$C$	Classe de resistência para coníferas
$D$	Classe de resistência para folhosas
$E_0$	Módulo de elasticidade da madeira na flexão
$E_C$	Módulo de elasticidade de referência para o cálculo do centro de gravidade do painel MLCC
$E_{m,med}$	Valor médio do módulo de elasticidade da madeira na flexão
$E_{0,05}$	Valor característico inferior (quinto percentil) do módulo de elasticidade da madeira na flexão
$E_{ef}$	Valor efetivo do módulo de elasticidade da madeira na flexão
$E_{c0,med}$	Valor médio do módulo de elasticidade na compressão medido na direção paralela às fibras da madeira
$E_{c90,med}$	Valor médio do módulo de elasticidade na compressão medido na direção perpendicular às fibras da madeira
$E_{ef,fi}$	Módulo de elasticidade efetivo em situação de incêndio
$F$	Ação ( $F_d$ , $F_k$ ); forças (em geral)
$G$	Módulo de elasticidade transversal da madeira
$G_d$	Valor de cálculo da ação permanente
$G_k$	Valor característico da ação permanente
$G_{vt}$	é o módulo de cisalhamento direção transversal
$I$	Momento de inércia à flexão



$I_t$	Momento de inércia à torção
$K$	Coefficiente de rigidez (N/m)
$L$	Vão, comprimento (também $l$ )
$L_0$ ou $L_f$	Comprimento de flambagem (também $l_0$ ou $l_{fl}$ )
$M$	Momento (em geral, momento fletor)
$M_d$	Valor de cálculo do momento ( $M_d$ , $M_{rd}$ , $M_{sd}$ )
$M_k$	Valor característico do momento ( $M_k$ , $M_{rk}$ , $M_{sk}$ )
$N_d$	Valor de cálculo da força normal
$N_k$	Valor característico da força normal
$Q_d$	Valor de cálculo da ação variável
$Q_k$	Valor característico da ação variável
$R$	Reação de apoio, resultante de tensões ( $R_c$ , $R_t$ ), resistência
$R_{fi,d}$	Esforço resistente de cálculo em situação de incêndio
$R_{0,2}$	20° percentil do esforço resistente em temperatura normal
$S$	Momento estático de área, solicitação
$S_d$	Solicitação de cálculo em temperatura normal
$S_{fi,d}$	Solicitação de cálculo em situação de incêndio
$T_d$ ou $M_{Td}$	Valor de cálculo de momento de torção
$U$	Umidade
$V$	Força cortante ( $V_d$ , $V_k$ ), volume
$W$	Força do vento, módulo de resistência à flexão

### 3.2 Letras romanas minúsculas

$b$	Largura
$b_f$	Largura da mesa das vigas de seção T
$b_w$	Largura da alma das vigas
$d$	Diâmetro nominal dos pinos metálicos
$d_a$	Diâmetro nominal do anel metálico
$e_{char,0}$	Espessura de carbonização unidimensional

$e_{char,n}$	Espessura de carbonização equivalente incluindo o efeito de arredondamento de cantos e fissuras
$e_{ef}$	Espessura efetiva de carbonização
$d_{eq}$	Diâmetro equivalente de cálculo de uma peça de seção circular variável (peça roliça)
$d_{máx.}$	Maior diâmetro da extremidade de uma peça de seção circular variável (peça roliça)
$d_{mín.}$	Menor diâmetro da extremidade de uma peça de seção circular variável (peça roliça)
$e$	Excentricidade
$f$	Resistência
$f_{d,fi}$	Resistência de cálculo da madeira em situação de incêndio
$f_e$	Resistência ao embutimento
$f_{v0}$	Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
$f_{0,2}$	Resistência à temperatura normal para o 20º percentil
$g$	Força permanente distribuída
$h$	Altura
$h_p$	Espessura do painel, em milímetros (mm)
$i$	Raio de giração
$k_{mod}$	Coefficiente de modificação ( $k_{mod1}$ , $k_{mod2}$ )
$k_{mod,fi}$	Coefficiente de modificação em situação de incêndio
$l$	Vão, comprimento
$l_0$ ou $l_{fl}$	Comprimento de flambagem (também $L_0$ ou $L_{fl}$ )
$m$	Flexão ou massa
$n$	Número de elementos de uma amostra; quantidade de pinos metálicos em uma mesma linha
$n_{ef}$	Quantidade, para cálculo, de pinos metálicos em uma mesma linha
$q$	Força distribuída variável
$r$	Raio, índice de rigidez = $I/L$
$s$	Espaçamento, desvio-padrão de uma amostra
$t$	Tempo em geral; tempo requerido de resistência ao fogo ( $TRRF$ ); espessura
$v$	Cisalhamento

$x$	Coordenada no plano horizontal perpendicular ao eixo da peça
$y$	Coordenada no plano vertical perpendicular ao eixo da peça
$z$	Coordenada na direção do eixo da peça, braço de alavanca

### 3.3 Letras gregas minúsculas

$\alpha$	Ângulo de inclinação das fibras em relação ao eixo axial (longitudinal)
$\beta$	Razão entre a espessura convencional da peça de madeira e o diâmetro do pino
$\beta_0$	Taxa de carbonização unidimensional
$\beta_n$	Taxa de carbonização equivalente para madeiras secas, incluindo o efeito de arredondamento de cantos e fissuras
$\gamma$	Peso específico
$\gamma_f$	Coeficiente de ponderação das ações
$\gamma_w$	Coeficiente de minoração da resistência da madeira
$\gamma_{w,fi}$	Coeficiente de minoração da resistência da madeira em situação de incêndio
$\delta$	deslocamento transversal ao eixo da peça
$\delta_{\text{camber}}$	Contraflecha
$\delta_{\text{inst}}$	Flecha instantânea
$\delta_{\text{fin}}$	Flecha final
$\delta_{\text{net,fin}}$	Flecha resultante final
$\varepsilon$	Deformação normal específica
$\theta_0$	Temperatura normal do ambiente antes do início do aquecimento (20 °C)
$\theta_g$	Temperatura dos gases no instante $t$
$\lambda$	Índice de esbeltez igual a $L_0/i$ , sendo $i$ o raio de giração
$\nu$	Coeficiente de Poisson
$\rho$	Massa específica (densidade)
$\rho_k$	Densidade característica
$\rho_m$	Densidade média
$\sigma$	Tensão normal ( $\sigma_d, \sigma_k, \sigma_u$ ), desvio-padrão de uma população
$\tau$	Tensão tangencial ( $\tau_d, \tau_k, \tau_u$ )

### 3.4 Índices gerais

<i>b</i>	Largura
<i>c</i>	Compressão; fluência
<i>d</i>	Cálculo
<i>k</i>	Característico
<i>m</i>	Flexão
<i>s</i>	Serviço; do aço; de retração
<i>t</i>	Tração, transversal
<i>u</i>	Último
<i>v</i>	Cisalhamento
<i>w</i>	Madeira; vento; alma das vigas
<i>y</i>	Escoamento do aço

### 3.5 Índices formados por abreviações

<i>anel</i>	Anéis
<i>cal</i>	Calculado; de cálculo
<i>cri</i>	Crítico
<i>ef</i>	Efetivo
<i>eq</i>	Equilíbrio (para umidade); equivalente
<i>est</i>	Estimado
<i>exc</i>	Excepcional
<i>inst</i>	Instantâneo (deslocamento)
<i>inf</i>	Inferior
<i>lim</i>	Limite
<i>máx.</i>	Máximo
<i>med</i>	Médio
<i>mín.</i>	Mínimo
<i>sup</i>	Superior

### 3.6 Índices especiais

<i>br</i>	Contraventamento ( <i>bracing</i> )
<i>G</i>	Valores decorrentes de ações permanentes
<i>M</i>	Valores na flexão
<i>Q</i>	Valores decorrentes de ações variáveis
<i>R</i>	Valores resistentes (pode ser substituído por <i>r</i> )
<i>S</i>	Valores solicitantes (pode ser substituído por <i>s</i> )

## 4 Requisitos gerais

### 4.1 Projeto

As construções a serem executadas, total ou parcialmente, em madeira, devem atender ao projeto elaborado por profissionais habilitados, com registro no respectivo conselho de classe.

O projeto é composto por memorial justificativo, desenhos e, quando há particularidades do projeto que interfiram na construção, por plano de execução. Utilizam-se os símbolos gráficos especificados pela ABNT NBR 7808.

Nos desenhos, deve constar de modo destacado a identificação dos materiais a serem utilizados.

### 4.2 Memorial justificativo

O memorial justificativo deve conter os seguintes elementos:

- descrição do arranjo global tridimensional da estrutura;
- ações e condições de carregamento admitidas, incluídos os percursos de cargas móveis;
- esquemas adotados na análise dos elementos estruturais e identificação de suas peças;
- análise estrutural;
- propriedades dos materiais;
- dimensionamento e detalhamento esquemático das peças estruturais;
- dimensionamento e detalhamento esquemático das emendas, uniões e ligações.

### 4.3 Desenhos

Os desenhos devem ser elaborados de acordo com a ABNT NBR 10067. Nos desenhos estruturais, devem constar de modo destacado as classes de resistência das madeiras a serem utilizadas.

As peças estruturais devem ter a mesma identificação nos desenhos e no memorial justificativo. Nos desenhos, devem estar claramente indicadas as partes do memorial justificativo onde estão detalhadas as peças estruturais representadas.

#### 4.4 Plano de execução

No plano de execução, quando necessária a sua inclusão no projeto, devem constar, entre outros elementos, as particularidades referentes a:

- a) sequência de execução;
- b) juntas de montagem.

### 5 Propriedades da madeira

#### 5.1 Generalidades

As propriedades da madeira são condicionadas por sua estrutura anatômica, devendo distinguir-se os valores correspondentes à tração dos correspondentes à compressão, bem como os valores correspondentes à direção paralela às fibras dos correspondentes à direção perpendicular às fibras. Devem também se distinguir os valores correspondentes às diferentes classes de umidade, definidas em 5.5.

#### 5.2 Densidade básica e densidade aparente

A densidade básica da madeira é a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é determinada mantendo-se os corpos de prova em estufa a 103 °C até que a massa do corpo de prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos de prova submersos em água até atingirem peso constante.

A densidade aparente da madeira é a massa específica obtida pelo quociente da massa pelo volume, ambos à mesma umidade

#### 5.3 Resistência

A resistência é a aptidão de a matéria suportar tensões, e é determinada, convencionalmente, pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos de prova isentos de defeitos do material considerado ou elementos estruturais, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais. De modo geral, estes fenômenos são os de ruptura ou de deformação específica excessiva.

Os efeitos da duração do carregamento e da umidade do meio ambiente sobre a resistência são considerados por meio dos coeficientes de modificação  $k_{mod1}$  e  $k_{mod2}$  especificados em 5.8.4.1 e 5.8.4.2, respectivamente.

#### 5.4 Rigidez

A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. O módulo médio de elasticidade na direção paralela às fibras é obtido no ensaio de flexão ( $E_m$  no caso de ensaios em peças estruturais) ou no ensaio de compressão paralela às fibras ( $E_{c0,med}$  no caso de ensaios em corpos de prova isentos de defeitos) e o módulo médio de elasticidade  $E_{c90,med}$  na direção perpendicular às fibras é obtido no ensaio de compressão perpendicular às fibras.

Na falta de determinação experimental específica, calcular o módulo médio de elasticidade  $E_{c90,med}$  na direção perpendicular às fibras conforme a seguir:

$$E_{c90,med} = \frac{E_m \text{ ou } E_{c0,med}}{20}$$



5.5 Umidade

O projeto das estruturas de madeira deve ser feito admitindo-se uma das classes de umidade especificadas na Tabela 1. As classes de umidade têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecem as estruturas durante a sua vida útil.

Tabela 1 – Classes de umidade

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente $U_{amb}$	Umidade de equilíbrio máxima da madeira $U_{eq}$
1	$U_{amb} \leq 65 \%$	12 %
2	$65 \% < U_{amb} \leq 75 \%$	15 %
3	$75 \% < U_{amb} \leq 85 \%$	18 %
4	$U_{amb} > 85 \%$ durante longos períodos	$\geq 25 \%$

5.6 Condições de referência

5.6.1 Condição-padrão de referência

Os valores especificados nesta Norma para as propriedades de resistência e de rigidez da madeira são os correspondentes à classe 1 de umidade, que constitui a condição-padrão de referência, definida pelo teor de umidade de equilíbrio da madeira de 12 %.

Na caracterização usual das propriedades de resistência e de rigidez de um dado lote de material, os resultados de ensaios realizados com diferentes teores de umidade da madeira, contidos no intervalo entre 10 % e 25 %, devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade-padrão de 12 %, classe 1, de acordo com as expressões seguintes.

A resistência deve ser corrigida pela seguinte equação:

$$f_{12} = f_U \left[ 1 + \frac{3(U - 12)}{100} \right]$$

A rigidez deve ser corrigida pela seguinte equação:

$$E_{12} = E_U \left[ 1 + \frac{2(U - 12)}{100} \right]$$

5.6.2 Condições especiais de utilização

A influência da temperatura nas propriedades de resistência e de rigidez da madeira deve ser considerada apenas quando as peças estruturais puderem estar submetidas por longos períodos de tempo a temperaturas fora da faixa usual de utilização de até 60 °C.

5.7 Caracterização das propriedades das madeiras

As propriedades de resistência e rigidez da madeira são, no geral, atribuídas a lotes considerados homogêneos (classificação por lote). Um lote é considerado homogêneo quando o coeficiente de variação da resistência à flexão das suas peças, determinado de acordo com a ABNT NBR 7190-4:2022, 8.2, for inferior a 20 %. A avaliação da homogeneidade pode ser feita por agrupamentos após a separação das peças por incidência de defeitos, densidades ou outras propriedades que conduzam a uma melhor homogeneidade dentro de cada grupo.



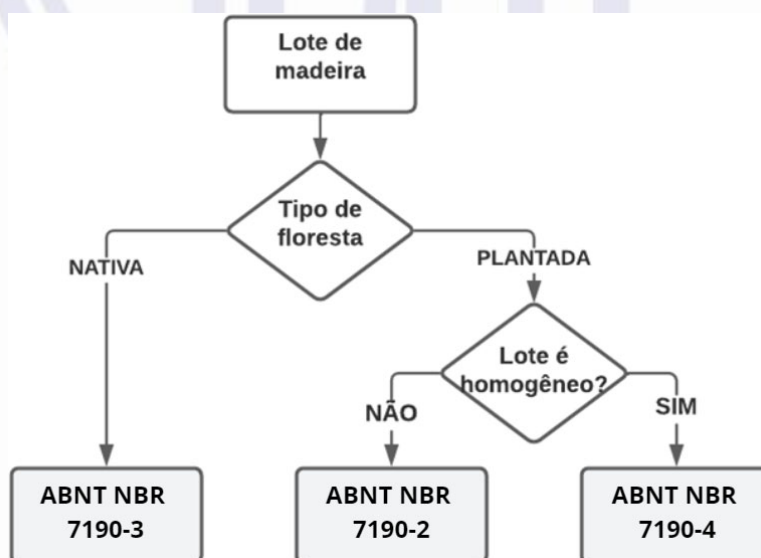
Para lotes homogêneos de madeiras de florestas plantadas deve ser extraída amostra constituída de peças estruturais, que devem ser ensaiadas conforme ABNT NBR 7190-4. A classe de resistência do lote, que define os valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira, é atribuída a partir da resistência característica à flexão ( $f_{m,k}$ ) da amostra representativa. A Tabela 3 apresenta valores referenciais de resistência.

Para lotes homogêneos de madeira de florestas nativas permite-se que a amostra seja constituída de corpos de prova isentos de defeitos, que devem ser ensaiados conforme ABNT NBR 7190-3. A classe de resistência do lote, que define os valores das propriedades de resistência e rigidez da madeira, é atribuída a partir da resistência característica à compressão paralela ( $f_{c0,k}$ ) da amostra representativa, conforme a Tabela 2.

Para lotes de madeiras de florestas plantadas para os quais não se pode garantir a homogeneidade, mas já se tem conhecimento consolidado dos efeitos de defeitos na resistência e rigidez, as propriedades de resistência e rigidez são atribuídas a cada peça estrutural (classificação por peça) e não ao lote como um todo. Cada peça deve ser classificada visual e mecanicamente conforme ABNT NBR 7190-2. A classe de resistência de cada uma das peças é considerada a menor das duas classes visual e mecânica atribuídas a ela. As peças de cada classe constituem um lote homogêneo ao qual, para efeitos de projeto, além do MOE médio e densidade, são associados valores referenciais de resistências características à flexão ( $f_{m,k}$  ou MOR), à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}$ ) e ao cisalhamento ( $f_{v,k}$ ).

NOTA É permitido adotar as classes de resistência atribuídas aos lotes ou às peças pelo controle de qualidade do produtor/fornecedor, sob sua responsabilidade, conforme legislação vigente.

A Figura 1 apresenta o fluxograma de caracterização das propriedades de resistência e rigidez das madeiras



**Figura 1 – Fluxograma de caracterização das propriedades de resistência e rigidez das madeiras**

### 5.7.1 Classes de resistência

As classes de resistência das madeiras têm por objetivo a utilização de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais. O enquadramento de peças de madeira nas classes de resistência especificadas na Tabela 2 e na Tabela 3 deve ser feito conforme 5.7.

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.

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° característico	$E_{0,05}$	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 %

### 5.7.2 Caracterização da madeira lamelada colada, da madeira compensada e da madeira recomposta

A caracterização das propriedades de madeira compensada e da madeira recomposta para projeto de estruturas deve ser feita a partir de corpos de prova confeccionados com material extraído do lote a ser ensaiado, as conforme ABNT ISO 12466-1, ABNT ISO 12466-2, ABNT NBR ISO 1954, ABNT NBR ISO 1096, ABNT NBR ISO 2074 e ABNT NBR ISO 2426-1, ABNT NBR ISO 2426-2 e ABNT NBR ISO 2426-3. Além disso, esses materiais devem ser ensaiados por métodos padronizados para verificação de sua durabilidade no ambiente a ser utilizado.

**NOTA** A madeira recomposta é um produto produzido a partir de partículas, fibras ou lascas de madeira, formando painéis, por exemplo: MDF, MPD ou OSB

A caracterização das propriedades da madeira lamelada colada para projeto de estruturas deve ser feita a partir de corpos de prova extraídos de peças estruturais fabricadas. Para as peças de grande porte, permite-se aceitar os resultados fornecidos pelo controle de qualidade do produtor, sob sua responsabilidade conforme a legislação vigente.

Para utilização da madeira lamelada colada, são admitidas as mesmas propriedades da madeira das lamelas, devendo ser realizados os seguintes ensaios conforme ABNT NBR 7190-6, para se determinar:

- a) a resistência ao cisalhamento na lâmina de cola;
- b) a delaminação;
- c) a resistência das emendas denteadas.

## 5.8 Valores representativos

### 5.8.1 Valores médios

O valor médio  $X_{med}$  de uma propriedade da madeira é determinado pela média aritmética dos valores correspondentes a amostragem dos elementos que compõem o lote de material considerado.

### 5.8.2 Valores característicos

O valor característico inferior  $X_{k,inf}$ , menor que o valor médio, é o valor que tem apenas 5 % de probabilidade de não ser atingido em um dado lote de material. O valor característico superior,  $x_{k,sup}$ , maior que o valor médio, é o valor que tem apenas 5 % de probabilidade de ser ultrapassado em um dado lote de material. De modo geral, salvo especificação em contrário, entende-se que o valor característico  $x_k$  seja o valor característico inferior  $x_{k,inf}$ .

Admite-se que as resistências das madeiras tenham distribuições normais de probabilidades.

### 5.8.3 Valores de cálculo

O valor de cálculo  $X_d$  de uma propriedade da madeira é obtido a partir do valor característico  $x_k$ , pela seguinte equação:

$$X_d = K_{mod} \frac{X_k}{\gamma_w}$$

onde

$\gamma_w$  é o coeficiente de minoração das propriedades da madeira;

$k_{mod}$  é o coeficiente de modificação, que contempla influências não consideradas por  $\gamma_w$  (conforme 5.8.4).

### 5.8.4 Coeficientes de modificação

Os coeficientes de modificação  $k_{\text{mod}}$  alteram os valores característicos das propriedades de resistência da madeira em função da classe de carregamento da estrutura e da classe de umidade admitida. O coeficiente de modificação  $k_{\text{mod}}$  é calculado conforme a seguir:

$$k_{\text{mod}} = k_{\text{mod1}} \cdot k_{\text{mod2}}$$

#### 5.8.4.1 Coeficiente de modificação $k_{\text{mod1}}$

O coeficiente parcial de modificação  $k_{\text{mod1}}$ , contempla a classe de carregamento e o tipo de material utilizado, conforme a Tabela 4.

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

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

A classe de carregamento de determinada combinação de ações é definida pela duração acumulada prevista para a ação variável tomada como a ação variável principal nessa combinação.

#### 5.8.4.2 Coeficiente de modificação $k_{\text{mod2}}$

O coeficiente parcial de modificação  $k_{\text{mod2}}$ , que contempla a classe de umidade e o tipo de material utilizado, é indicado na Tabela 5.

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).		

### 5.8.5 Coeficientes de minoração da resistência para estados-limites último

O coeficiente de minoração  $\gamma_w$  para estados-limite últimos decorrentes de tensões normais tem o valor básico  $\gamma_w = 1,4$ . O coeficiente de ponderação para estados-limite últimos decorrentes de tensões de cisalhamento tem o valor básico  $\gamma_w = 1,8$ .

### 5.8.6 Coeficiente de ponderação para estados-limite de serviço

O coeficiente de ponderação para estados-limite de serviço tem o valor básico  $\gamma_w = 1,0$ .

### 5.8.7 Estimativa da resistência característica e módulo de elasticidade

Para as espécies que tenham apresentado os valores médios das resistências  $f_{w,med}$  e dos módulos de elasticidade na compressão paralela às fibras  $E_{c0,med}$ , correspondentes a diferentes teores de umidade  $U$ , admite-se como valor de referência a resistência média  $f_{w,med,12}$  correspondente, e o módulo de elasticidade, a 12 % de umidade.

Admitem-se, ainda, as expressões dadas em 5.6.1 para  $f_{12}$  e  $E_{12}$ . Neste caso, para o projeto, pode-se admitir a relação entre as resistências característica e média como em 6.2.6, correspondente a um coeficiente de variação da resistência de 18 % para solicitações de compressão paralela às fibras e 28 % para solicitações de cisalhamento.

O módulo de elasticidade na direção paralela às fibras ( $E_0$ ) é definido em ensaios de flexão e tem os valores apresentados na Tabela 3. No caso do uso da Tabela 2, deve ser considerada a igualdade entre os valores médios obtidos na flexão e na compressão paralela às fibras ( $E_{0,med} = E_{c0,med}$ ).

Nas verificações de estados limites últimos referentes à estabilidade de peças comprimidas e flexocomprimidas, deve ser utilizado o valor característico para o módulo de elasticidade ( $E_{0,05}$ ). No caso do uso da Tabela 2 o valor característico pode ser utilizado como sendo igual a 70 % do valor médio do módulo de elasticidade, conforme a seguinte equação:

$$E_{0,05} = 0,7 \cdot E_{c0,med}$$

Nas verificações de estados-limite últimos, referentes à estabilidade lateral de vigas, deve ser considerado o valor efetivo para o módulo de elasticidade ( $E_{ef}$ ), calculado conforme a seguinte equação:

$$E_{0,ef} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot E_{0,med}$$



Nas verificações de estados-limite de serviço, deve ser considerado o valor médio do módulo de elasticidade ( $E_{0,med}$ ).

Quando necessário, o módulo de elasticidade transversal deve ser calculado conforme a seguinte equação:

$$G_{med} = \frac{E_{0,med}}{16}$$

## 6 Estados-limite últimos

### 6.1 Esforços atuantes em estados-limite últimos

Os esforços atuantes nas peças estruturais devem ser calculados de acordo com os princípios da Estática das Construções, admitindo-se em geral a hipótese de comportamento elástico linear dos materiais.

Permite-se admitir que a distribuição das cargas aplicadas em áreas reduzidas, através das espessuras dos elementos construtivos, possa ser considerada com um ângulo de 45° até o eixo do elemento resistente.

Nas estruturas aporricadas e em outras estruturas capazes de permitir a redistribuição de esforços, permite-se que os esforços solicitantes sejam calculados por métodos que admitam o comportamento elastoplástico dos materiais.

Os coeficientes de ponderação e os fatores de combinação para a determinação dos valores de cálculo das ações, e as combinações de ações em estados-limite últimos estão definidas na ABNT NBR 8681.

Um carregamento é especificado pelo conjunto de ações que têm probabilidade não desprezível de atuação simultânea. Em cada carregamento, as ações devem ser combinadas de diferentes maneiras, a fim de serem determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. Nessa determinação, deve ser considerada a influência da duração do carregamento na resistência da madeira, como especificado em 5.8.4.1. Alternativamente, é permitido considerar os carregamentos como sendo de longa duração. Nesse 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, 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) e 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.

No caso de ações permanentes diretas consideradas separadamente, para elementos estruturais de madeira, são recomendados 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.

## 6.2 Esforços resistentes em estados-limite últimos

### 6.2.1 Critérios gerais

Os esforços resistentes das peças estruturais de madeira em geral devem ser determinados com a hipótese de comportamento elastofrágil do material, isto é, com um diagrama tensão deformação linear até a ruptura tanto na compressão quanto na tração paralela às fibras. Nas peças estruturais submetidas à flexocompressão, os esforços resistentes podem ser calculados com a hipótese de comportamento elastoplástico da madeira na compressão paralela às fibras.

### 6.2.2 Tração paralela às fibras

No caso de se utilizar os dados da Tabela 2, 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:

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

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.

### 6.2.3 Tração perpendicular às fibras

Quando as tensões de tração perpendicular às fibras puderem atingir valores significativos, devem ser utilizados dispositivos que impeçam a ruptura decorrente dessas tensões. A segurança das peças estruturais de madeira em relação a estados limites últimos não pode depender diretamente da resistência à tração perpendicular às fibras do material. Considera-se, entretanto, para viabilizar o uso da Fórmula de Hankinson na tração inclinada em relação às fibras, um valor mínimo de resistência igual a 6 % do valor de tração paralela às fibras ( $f_{t90,d} = 0,06 \cdot f_{t0,d}$ ).

### 6.2.4 Compressão perpendicular às fibras

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 (ver Tabela 6). 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.

**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



### 6.2.5 Resistência de embutimento

Os esforços resistentes à solicitação de compressão de pinos embutidos em orifícios da madeira são determinados por ensaio específico de embutimento, realizado conforme ABNT da NBR 7190-3. Na ausência de determinação experimental específica, permite-se a utilização das equações nesta subseção.

Estas expressões da resistência de embutimento são válidas para ligações usando pinos metálicos entre peças de madeira, ou entre peças de madeira e chapas metálicas. Estas expressões não são válidas para os casos de ligações de pinos metálicos entre peças de madeira e peças de painéis industrializados de madeira (como madeira compensada, OSB etc.).

Para determinação da resistência de embutimento, são necessários os valores da densidade característica. Na falta de informações mais precisas provenientes da caracterização mecânica, é utilizada a seguinte relação entre a densidade média e a densidade característica, em elementos de madeira serrada e LVL, para qualquer ângulo em relação às fibras::

$$\rho_k = \frac{\rho_{med}}{1,2}$$

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 pré-furação:

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

- Com pré-furação:

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

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:

$$f_{e\alpha,k} = \frac{f_{e0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

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

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015d & \text{(Para madeiras de coníferas)} \\ 1,30 + 0,015d & \text{(Para painéis de LVL)} \\ 0,90 + 0,015d & \text{(Para madeiras de folhosas)} \end{cases}$$

### 6.2.6 Valores de cálculo da resistência

O cálculo da resistência é realizado conforme a seguinte equação:

$$f_{wd} = k_{mod} \frac{f_{wk}}{\gamma_w}$$

O coeficiente de modificação  $k_{mod}$  é especificado em 5.8.4, em função da classe de carregamento e da classe de umidade da madeira. Os coeficientes de minoração da resistência da madeira têm seus valores especificados em 5.8.5.

Para as madeiras classificadas a partir de ensaios em peças estruturais, os valores característicos das resistências são dados pelas classes de resistência da Tabela 3.

Para espécies tropicais, é permitido considerar a resistência característica à compressão paralela às fibras  $f_{c0, k}$ , com os valores padronizados das classes de resistência, conforme a Tabela 2. Para as espécies que já foram estudadas por laboratórios de reconhecida competência, podem ser utilizadas as seguintes equações simplificadas:

$$f_{c,k,12} = 0,70 \cdot f_{c,med,12}$$

$$f_{v,k,12} = 0,54 \cdot f_{v,med,12}$$

$$f_{12} = f_{U\%} \left[ 1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \text{ (ver 5.6.1)}$$

Para cálculo de  $f_{12}$ , não podem ser usados valores de umidade (U %) acima de 25 %.

### 6.2.7 Peças de seção circular

As peças de seção circular variável (peças roliças) podem ser calculadas como se fossem de seção circular constante representada pelo diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ), considerado igual ao da seção situada a 1/3 do comprimento da extremidade mais delgada, não se considerando, no entanto, valor superior a 1,5 vez o diâmetro dessa extremidade. O diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ) pode ser determinado pela equação apresentada em 9.7.

### 6.2.8 Resistência às tensões normais inclinadas em relação às fibras da madeira

Permite-se ignorar a influência da inclinação  $\alpha$  das tensões normais em relação às fibras da madeira até o ângulo  $\alpha = 6^\circ$ . Para inclinações maiores, é preciso considerar a redução de resistência, calcular conforme a seguinte equação (fórmula de Hankinson):

$$f_{\alpha} = \frac{f_0 \cdot f_{90}}{f_0 \cdot \sin^2 \alpha + f_{90} \cdot \cos^2 \alpha}$$

## 6.3 Solicitações normais

### 6.3.1 Generalidades

Nas considerações de eixos ortogonais em barras, considerar como apresentado na Figura 2, ou seja, z indica a direção axial; x e y as direções normais ao eixo z, normais entre si, e contidas na seção transversal da peça.

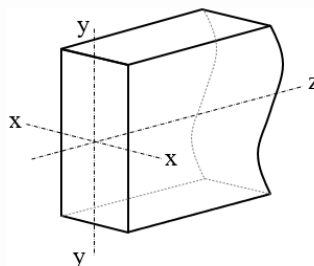


Figura 2 – Denominações dos eixos ortogonais

### 6.3.2 Tração

Nas barras tracionadas axialmente, a condição de segurança é calculada conforme a seguinte equação:

$$\sigma_{N_{t,d}} = \frac{N_{t,d}}{A} \leq f_{t0,d}$$

onde

$\sigma_{N_{t,d}}$  é o valor de cálculo da tensão de tração normal à seção transversal;

$N_{t,d}$  é o valor de cálculo da força normal de tração;

$A$  é a área líquida da seção transversal;

$f_{t0,d}$  é o valor de cálculo da resistência à tração paralela às fibras.

No caso de peças com fibras inclinadas de ângulos  $\alpha > 6^\circ$ , aplica-se à  $f_{t0,d}$  a redução conforme 6.2.8.

Para madeira lamelada colada cruzada, a área da seção transversal deve ser calculada conforme 6.7.4.10.2

### 6.3.3 Compressão

Além da verificação de estabilidade de acordo com 6.5, a condição de segurança relativa à resistência à compressão axial é calculada conforme a seguinte equação:

$$\sigma_{N_{c,d}} = \frac{N_{c,d}}{A} \leq f_{c0,d}$$

onde

$\sigma_{N_{c,d}}$  é o valor de cálculo da tensão de compressão normal à seção transversal;

$N_{c,d}$  é o valor de cálculo da força normal de compressão;

$A$  é a área líquida da seção transversal;

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

No caso de peças com fibras inclinadas de ângulos  $\alpha > 6^\circ$ , aplica-se à  $f_{t0,d}$  a redução em 6.2.8.

Para madeira lamelada colada cruzada, a área da seção transversal deve ser calculada conforme 6.7.4.10.2

Nas peças submetidas à compressão perpendicular às fibras, a condição de segurança é calculada conforme as equações a seguir:

$$\sigma_{90,d} \leq f_{c90,d}$$

onde

$f_{c90,d}$  deve ser determinada de acordo pela expressão a seguir com  $\alpha_n$  definido em 6.2.4, sendo:

$$f_{c90,d} \leq 0,25 \cdot f_{c0,d} \cdot \alpha_n$$

### 6.3.4 Flexão simples reta

Para as peças fletidas, considera-se o vão teórico igual ao menor dos seguintes valores:

- distância entre eixos dos apoios;
- vão livre acrescido da altura da seção transversal da peça no meio do vão, não se considerando acréscimo maior que 10 cm.

Nas barras submetidas a momento fletor cujo plano de ação contém um eixo central de inércia da seção transversal resistente, a seguinte expressão deve ser atendida:

$$\frac{\sigma_{M,d}}{f_{m,d}} = \frac{M_d}{W} \leq 1$$

onde

$\sigma_{M,d}$  é o valor máximo de cálculo da tensão atuante de flexão, calculado por  $M_d/W$ ;

$f_{m,d}$  é o valor de cálculo da resistência à flexão; no caso de uso da Tabela 2 considerar  $f_{m,d} = f_{c0,d}$ ;

$M_d$  é o valor de cálculo do momento fletor;

$W$  é o módulo de resistência da seção transversal à direção paralela às fibras, em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao plano de ação do momento fletor.

Para madeira lamelada colada cruzada, o módulo de resistência deve ser calculado conforme 6.7.4.10.2.

Também deve ser feita a verificação da condição de instabilidade da peça, conforme 6.5.5.

No caso de peças com fibras inclinadas de ângulos  $\alpha > 6^\circ$ , aplica-se à  $f_{m,d}$  a redução definida em 6.2.8.

### 6.3.5 Flexão simples oblíqua

Nas seções submetidas a momento fletor cujo plano de ação não contém um de seus eixos centrais de inércia, a condição de segurança é expressa pela mais rigorosa das duas condições seguintes:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{e} \quad k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

onde

$\sigma_{Mx,d}$  e  $\sigma_{My,d}$  são as tensões máximas de cálculo devidas às componentes de flexão atuantes segundo as direções principais;

$f_{m,d}$  é a resistência de cálculo na flexão conforme 6.3.4.

O coeficiente de correção pode ser utilizado com os valores:

- seção retangular:  $k_M = 0,7$ ;
- outras seções transversais:  $k_M = 1,0$ .

No caso de peças com fibras inclinadas de ângulos  $\alpha > 6^\circ$ , aplica-se à  $f_{b,d}$  a redução em 6.2.8.

Também deve ser feita a verificação da condição de instabilidade da peça, conforme 6.5.5.

### 6.3.6 Flexotração

Nas barras submetidas à flexotração, a condição de segurança é expressa pela mais rigorosa das duas equações seguintes aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais tracionada, considerando-se uma função linear para a influência das tensões devidas à força normal de tração:

$$\frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{e} \quad \frac{\sigma_{Nt0,d}}{f_{t0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

onde

$\sigma_{Nt,d}$  é o valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de tração;

$f_{t0,d}$  é a resistência de cálculo à tração paralela às fibras e os demais símbolos têm os significados definidos em 6.3.5.

No caso de peças com fibras inclinadas de ângulos  $\alpha > 6^\circ$ , aplica-se à  $f_{m,d}$  e à  $f_{t0,d}$  a redução em 6.2.8.

### 6.3.7 Flexocompressão

Além da verificação de estabilidade a ser feita de acordo com 6.5.5, a condição de segurança relativa à resistência das seções transversais submetidas à flexocompressão é expressa pela mais rigorosa das duas equações seguintes, aplicadas ao ponto mais solicitado da borda mais comprimida, considerando-se uma função quadrática para a influência das tensões devidas à força normal de compressão:

$$\left( \frac{\sigma_{Nc0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{e} \quad \left( \frac{\sigma_{Nc0,d}}{f_{c0,d}} \right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

onde

$\sigma_{Nc,d}$  é o valor de cálculo da parcela de tensão normal atuante em virtude apenas da força normal de compressão;

$f_{c0,d}$  é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras e os demais símbolos são conforme Seção 3.

No caso de peças com fibras inclinadas de ângulos  $\alpha > 6^\circ$ , aplica-se à  $f_{m,d}$  e à  $f_{c0,d}$  a redução em 6.2.8.

## 6.4 Cisalhamento

### 6.4.1 Cisalhamento nas ligações

Nas ligações submetidas à força cortante, a condição de segurança em relação às tensões tangenciais é expressa por:

$$\tau_d = \frac{V_d}{A} \leq f_{v0,d}$$

onde

$\tau_d$  é a tensão de cisalhamento atuando na área A em estudo, e produzida pela força  $V_d$ .

### 6.4.2 Cisalhamento longitudinal em vigas

Nas vigas submetidas à flexão com força cortante, a condição de segurança em relação às tensões tangenciais é calculada conforme a seguir:

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{b \cdot I} \leq f_{v0,d}$$

onde

$\tau_d$  é a máxima tensão de cisalhamento atuando no ponto mais solicitado da peça;

$V_d$  é a força cortante na seção em estudo;

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

$b$  é a largura ou somatória das larguras no ponto da seção em estudo;

$I$  é o momento de inércia da seção transversal.

Para madeira lamelada colada cruzada, os momentos de inércia devem ser calculados conforme 6.7.4.11.2.2

Em vigas de seção transversal retangular, de largura  $b$  e altura  $h$ , e, portanto, área  $A = b \cdot h$ , a equação anterior se reduz a:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{A}$$

Na falta de determinação experimental específica, admitem-se:

a) coníferas:  $f_{v0,d} = 0,12 f_{c0,d}$ ;

b) folhosas:  $f_{v0,d} = 0,10 f_{c0,d}$ ;

### 6.4.3 Redução da força cortante próxima aos apoios

Nas vigas de altura  $h$  que recebem forças concentradas ou distribuídas, que produzem tensões de compressão nos planos longitudinais, a uma distância  $0 \leq z \leq 2h$  a partir do eixo do apoio, o cálculo das tensões de cisalhamento pode ser feito com uma força cortante reduzida de valor, calculado conforme a seguinte equação.

$$V_{red} = V \cdot \frac{z}{2h}$$

onde

$z$  tem origem no ponto teórico do apoio;

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



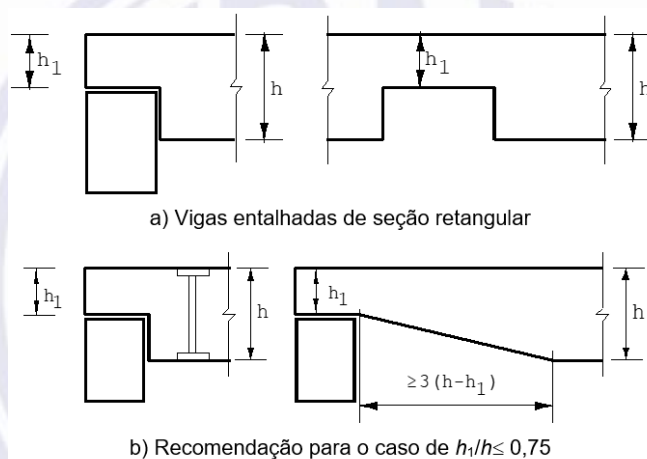
#### 6.4.4 Vigas entalhadas de seção retangular

No caso de variações bruscas de seção retangular transversal, devidas a entalhes, deve-se multiplicar a tensão de cisalhamento na seção mais fraca, de altura  $h_1$ , pelo fator  $h/h_1$ , obtendo-se o valor calculado conforme a seguir:

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{b \cdot h_1} \left( \frac{h}{h_1} \right)$$

respeitada a restrição  $h_1 > 0,75 h$  (ver Figura 3 - a).

No caso de se ter  $h_1/h \leq 0,75$ , recomenda-se a utilização de parafusos verticais dimensionados à tração axial para a totalidade da força cortante a ser transmitida ou o emprego de variações de seção com mísulas de comprimento não menor que três vezes a altura do entalhe, de acordo sempre com o limite absoluto  $h_1/h \geq 0,5$  (ver Figura 3 - b).



**Figura 3 – Vigas com entalhes**

#### 6.4.5 Torção

Recomenda-se evitar a torção de equilíbrio em peças de madeira, em virtude do risco de ruptura por tração perpendicular às fibras decorrente do estado múltiplo de tensões atuante.

Quando o equilíbrio do sistema estrutural depender dos esforços de torção (torção de equilíbrio), deve-se considerar a condição  $\tau_{T,d} \leq f_{v0,d}$  calculando-se  $\tau_{T,d}$  pelas expressões da teoria da elasticidade, sob ações das solicitações de cálculo  $T_d$  determinadas de acordo com as regras de combinação.

### 6.5 Estabilidade

#### 6.5.1 Generalidades

O procedimento para a verificação da estabilidade das peças comprimidas deve atender de 6.5.2 a 6.5.7.

#### 6.5.2 Condições de alinhamento das peças

Para peças que compõem pórticos, treliças, pilares ou vigas em que a instabilidade lateral pode ocorrer, o desvio no alinhamento axial da peça, medido na metade da distância entre os apoios, deve ser limitado em:

- $L/300$  para peças de madeira serrada ou roliça;
- $L/500$  para peças de madeira laminada colada.



### 6.5.3 Esbeltez

Os requisitos de dimensionamento dependem da esbeltez da peça, definida pelo seu índice de esbeltez, calculado conforme seguir:

$$\lambda = \frac{L_0}{\sqrt{I/A}}$$

onde

$L_0$  é o comprimento de flambagem;

$I$  é o momento de inércia na direção analisada;

$A$  é a área da seção transversal.

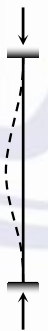

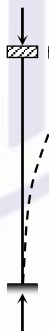








No caso da madeira lamelada colada cruzada, a área e o momento de inércia devem ser determinados conforme a equação em 6.7.4.11.1.2.

Devem ser investigadas as condições que resultem em uma menor resistência para a peça, considerando as eventuais contribuições de contraventamentos existentes nas diferentes direções. O comprimento de flambagem,  $L_0$ , depende das condições de vinculação das extremidades das barras e é calculado conforme a seguinte equação:

$$L_0 = K_E \cdot L$$

Os valores de  $K_E$  são apresentados na Tabela 7.

**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				

O índice de esbeltez das peças sujeitas à compressão axial ou à flexocompressão não pode ser maior que 140.

#### 6.5.4 Esbeltez relativa

Os índices de esbeltez relativa são definidos por:

- em x:  $\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}}$
- em y:  $\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}}$

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, respectivamente, conforme definido em 5.5.2;

$E_{0,05}$  é o valor característico do módulo de elasticidade medido na direção paralela às fibras da madeira, conforme 5.8.7.

#### 6.5.5 Condição de estabilidade de peças comprimidas e flexocomprimidas

Para  $\lambda_{rel,x} \leq 0,3$  e  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$  as tensões devem satisfazer apenas às condições da compressão, apresentadas em 6.3.3, ou da flexocompressão, apresentadas em 6.3.7, não sendo necessária a verificação da estabilidade.

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

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx} f_{c0,d}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cy} f_{c0,d}} + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

onde

$\sigma_M$  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;

$K_M$  é o coeficiente conforme 6.3.5.

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

$$k_{cx} = \frac{1}{k_x + \sqrt{(k_x)^2 - (\lambda_{rel,x})^2}} \quad \text{e} \quad k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{(k_y)^2 - (\lambda_{rel,y})^2}}$$

em que

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

e

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

Nas equações para o cálculo dos coeficientes  $k_x$  e  $k_y$ ,  $\beta_c$  é o fator 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):  $\beta_c = 0,1$ .

### 6.5.6 Estabilidade lateral das vigas de seção retangular

As vigas sujeitas à flexão simples reta, além de respeitarem as condições de segurança expressas em 6.3.4, devem ter sua estabilidade lateral verificada por teoria cuja validade tenha sido comprovada experimentalmente.

Essa verificação pode ser dispensada nos casos de vigas de seção transversal retangular de largura  $b$  e altura  $h$  medida no plano de atuação do carregamento, desde que atendam aos requisitos a seguir:

- a) as rotações nas seções extremas (apoios da viga) estão impedidas; e
- b) o comprimento  $L_1$ , definido como a distância entre pontos adjacentes da borda comprimida com deslocamentos laterais impedidos (apoios da viga e pontos com travamento lateral, se existentes), atende à seguinte condição:

$$\frac{L_1}{b} \leq \frac{E_{0,ef}}{\beta_M f_{m,d}}$$

$$\beta_M = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\beta_E}{\gamma_f} \cdot \frac{\left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{\left(\frac{h}{b} - 0,63\right)^{1/2}}$$

No caso de e coeficiente de correção,  $\beta_E = 4$ ,  $\beta_M$  é conforme a Tabela 8.

**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

Para as peças em que a condição estipulada para  $L_1$  não é atendida, a verificação de estabilidade também pode ser dispensada desde que, além de atender a 6.3.4, o máximo valor de cálculo da tensão de compressão ( $\sigma_{c,d}$ ) deve ser conforme a seguir:

$$\sigma_{c,d} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\left(\frac{L_1}{b}\right) \beta_M}$$

### 6.5.7 Estabilidade lateral das vigas de seção não retangular

A estabilidade lateral de vigas de seção não retangular deve ser estudada individualmente.

## 6.6 Estabilidade global – Contraventamento

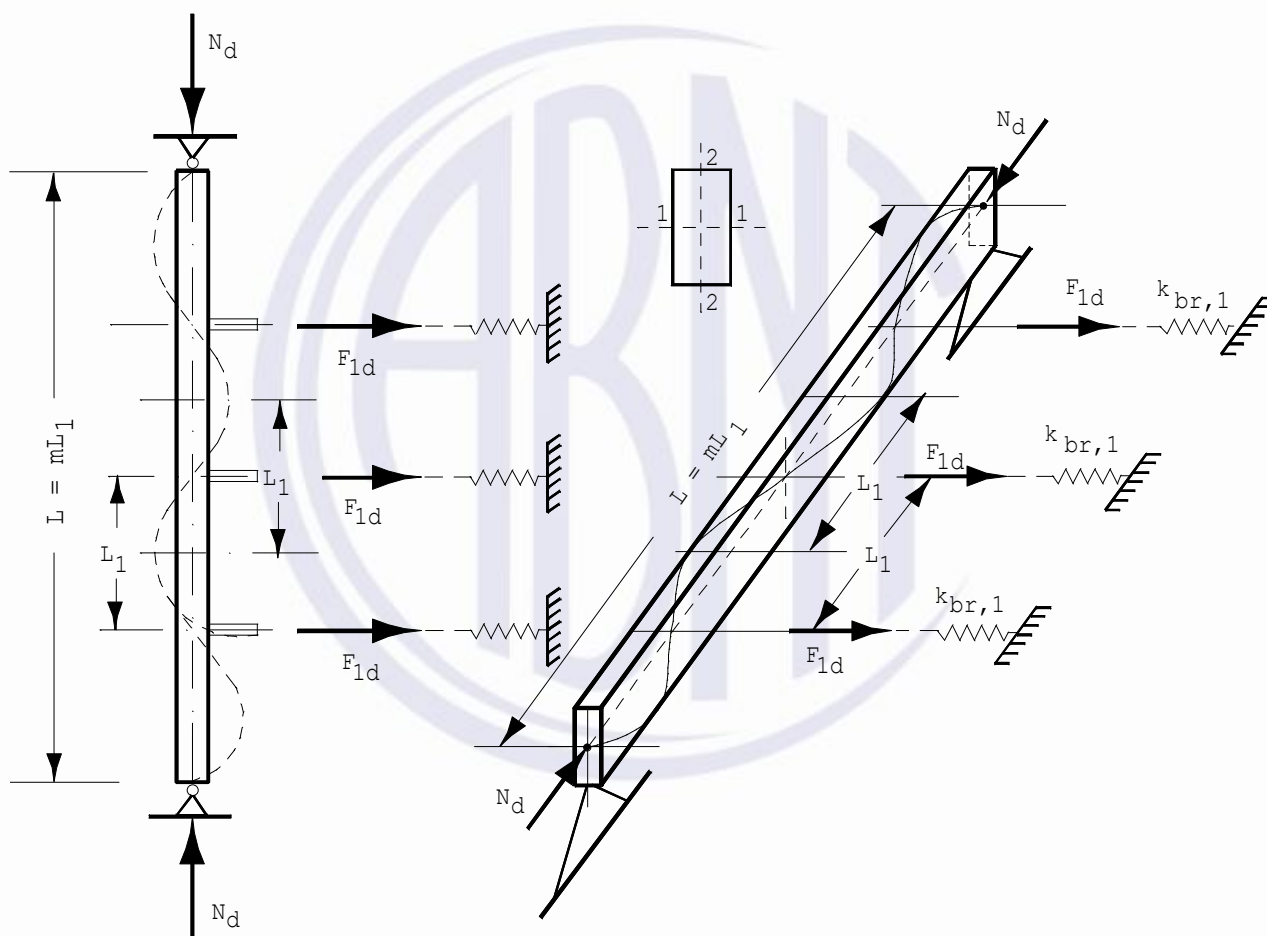
### 6.6.1 Generalidades

As estruturas formadas por um sistema principal de elementos estruturais, dispostos com sua maior rigidez em planos paralelos entre si, devem ser contraventadas por outros elementos estruturais,

dispostos com sua maior rigidez em planos ortogonais aos primeiros, de modo a impedir deslocamentos transversais excessivos do sistema principal e garantir a estabilidade global do conjunto.

No dimensionamento do contraventamento, devem ser consideradas as imperfeições geométricas das peças, as excentricidades inevitáveis dos carregamentos e os efeitos de segunda ordem decorrentes das deformações das peças fletidas.

Na falta de determinação específica da influência destes fatores, permite-se admitir que, na situação de cálculo, em cada nó do contraventamento seja considerada uma força  $F_{1d}$ , com direção perpendicular ao plano de resistência dos elementos do sistema principal, de intensidade convencional, conforme Figura 4.



**Figura 4 – Parâmetros para verificação da estabilidade lateral**

### 6.6.2 Contraventamento de peças comprimidas

Para as peças comprimidas pela força de cálculo  $N_d$ , com articulações fixas em ambas as extremidades, cuja estabilidade requeira o contraventamento lateral por elementos espaçados entre si da distância  $L_1$ , devem ser respeitadas as seguintes condições adiante especificadas em função dos parâmetros mostrados na Figura 4.

As forças  $F_{1d}$  atuantes em cada um dos nós do contraventamento podem ser admitidas com o valor mínimo convencional de  $N_d/150$ , correspondente a uma curvatura inicial da peça com flechas da ordem de  $1/300$  do comprimento do arco correspondente.

A rigidez  $K_{br,1}$  da estrutura de apoio transversal das peças de contraventamento deve assegurar que a eventual instabilidade teórica da barra principal comprimida corresponda a um eixo deformado

constituído por  $m$  semiondas de comprimento  $L_1$  entre nós indeslocáveis. A rigidez  $K_{br,1}$  deve atender no mínimo as seguintes condições (ver Tabela 9).

$$K_{br,1,min} = 2\alpha_m \frac{\pi^2 E_{0,ef} I_2}{L_1^3}$$

$$\alpha_m = 1 + \cos \frac{\pi}{m}$$

onde

- $m$  é o número de intervalos de comprimento  $L_1$  entre as  $(m - 1)$  linhas de contraventamento ao longo do comprimento total  $L$  da peça principal;
- $L_1$  é a distância entre elementos de contraventamento;
- $E_{0,ef}$  é o valor do módulo de elasticidade efetivo, conforme 5.8.7, da peça principal contraventada;
- $I_2$  é o momento de inércia da seção transversal da peça principal contraventada, para flexão no plano de contraventamento.

**Tabela 9 – Valores de  $\alpha_m$**

$m$	2	3	4	5	$\infty$
$\alpha_m$	1	1,5	1,7	1,8	2

Se os elementos de contraventamento forem comprimidos pelas forças  $F_{1d}$ , eles também devem ter sua estabilidade verificada. Esta verificação é dispensada quando os elementos de contraventamento forem efetivamente fixados em ambas as extremidades, de modo que eles possam cumprir sua função, sendo solicitados apenas à tração em um de seus lados. As emendas dos elementos de contraventamento e as suas fixações às peças principais contraventadas devem ser dimensionadas para resistirem às forças  $F_{1d}$ .

### 6.6.3 Contraventamento do banzo comprimido das peças fletidas

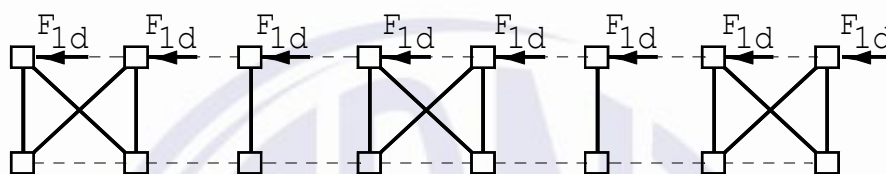
Para o contraventamento do banzo comprimido de treliças ou de vigas fletidas, admitem-se as mesmas hipóteses em 6.6.2, adotando-se para  $F_{1d}$  os mesmos valores de 6.6.2, considerando  $N_d$  como a força máxima de compressão atuante nas barras deste banzo ou a resultante  $R_{cd}$  das tensões de compressão na viga, na situação de cálculo. No caso de vigas, a validade desta hipótese exige que esteja impedida a rotação, em torno de seu eixo longitudinal, das seções transversais de suas duas extremidades.

### 6.6.4 Estabilidade global de elementos estruturais em paralelo

Para um sistema estrutural principal, formado por uma série de  $n$  elementos estruturais planos em paralelo, cuja estabilidade lateral individual requeira contraventamento, deve ser prevista uma estrutura de contraventamento, composta por outros elementos estruturais planos, dispostos em planos perpendiculares ao plano dos elementos contraventados. Se a estrutura de contraventamento estiver submetida a carregamentos externos atuantes na construção, os seus efeitos devem ser acrescidos aos decorrentes da função de contraventamento.

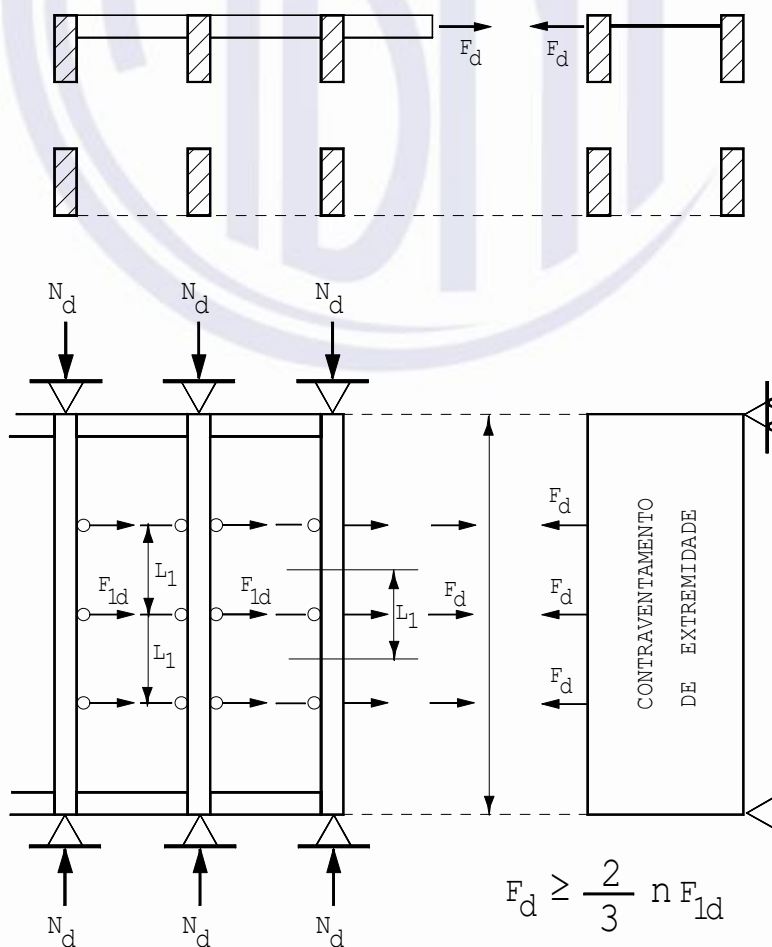
No caso de estruturas de cobertura, na falta de uma análise estrutural rigorosa, permite-se considerar a estrutura de contraventamento como composta por um sistema de treliças verticais, dispostas perpendicularmente aos elementos do sistema principal, e por treliças dispostas perpendicularmente ao plano dos elementos do sistema estrutural principal, no plano horizontal e no plano da cobertura, colocadas nas extremidades da construção e em posições intermediárias com espaçamentos não superiores a 20 m.

O sistema de treliças verticais é formado por duas diagonais, dispostas verticalmente em pelo menos um de cada três vãos definidos pelos elementos do sistema principal, e por peças longitudinais que liguem continuamente, de uma extremidade a outra da construção, os nós homólogos dos banzos superior e inferior dos elementos do sistema principal, conforme a Figura 5.



**Figura 5 – Arranjo vertical de contraventamento**

Em cada nó pertencente ao banzo comprimido dos elementos do sistema principal, deve ser considerada uma força transversal ao elemento principal, com intensidade  $F_{1d} = N_d / 150$ , onde  $N_d$  é o valor de cálculo da resultante das tensões atuantes no banzo comprimido de um elemento do sistema principal (ver Figura 6).



**Figura 6 – Arranjo horizontal de contraventamento**



As estruturas de contraventamento das extremidades da construção, como apresentado na Figura 6, e de eventuais posições intermediárias, quando existentes, devem resistir, em cada um de seus nós, a forças cujo valor de cálculo  $F_d$  corresponda pelo menos a 2/3 da resultante das  $n$  forças  $F_{1d}$  existentes no trecho a ser estabilizado pela estrutura de contraventamento considerada.

A rigidez destas estruturas de contraventamento deve ser tal que o seu nó mais deslocável atenda ao requisito de rigidez mínima, calculada conforme a seguinte equação:

$$K_{br} \geq \frac{2}{3} n K_{br,1,min}.$$

onde

$K_{br,1,min}$  é dado em 6.6.2.

## 6.7 Peças compostas

### 6.7.1 Generalidades

As peças compostas por elementos justapostos solidarizados continuamente podem ser consideradas como se fossem peças maciças, com as restrições indicadas em 6.7.2, 6.7.3 e 6.7.4.

### 6.7.2 Peças compostas de seção T, I ou caixão, ligadas por pregos

O módulo de deslizamento é determinado em função da densidade da madeira e do diâmetro  $d$  do pino utilizado, conforme apresentado na Tabela 16, no item 7.1.12. Os valores de  $K$  devem ser adotados como a seguir:

- $K = K_{ser}$  para os estados limites de utilização (N/mm);
- $K = K_u$  para os estados limites últimos (N/mm);

Na tabela 16, no item 7.1.12 os valores  $K$  são em função do diâmetro  $d$  do conector em mm, e da densidade da madeira  $\rho_k$  em kg/m<sup>3</sup>. Se as peças forem de madeiras com densidades diferentes deve-se utilizar uma densidade equivalente, calculada conforme a seguir:

$$\rho_k = \sqrt{\rho_{k1} \cdot \rho_{k2}}$$

O fator de redução da inércia do conjunto é feito para o material que apresentar o maior módulo de elasticidade, calculado conforme a seguir:

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot L_{ef}^2}}, \text{ para } i = 1 \text{ e } 3$$

onde

- $E_i$  é o módulo de elasticidade de cada elemento da seção transversal;
- $A_i$  é a área de cada parte da seção transversal;
- $s_i$  é o espaçamento dos pregos na interface do elemento  $i$  com o elemento 2;
- $K_i$  é o módulo de deslizamento da ligação do elemento  $i$  com o elemento 2;
- $L_{ef}$  é o vão efetivo da viga: para vigas biapoiadas  $L_{ef} = L$  (vão), para vigas contínuas  $L_{ef} = 0,8 L$ , e para vigas em balanço  $L_{ef} = 2 L$ .

O espaçamento dos pregos pode ser uniforme ou variar conforme a força de cisalhamento, entre um valor mínimo  $s_{\min.}$  e  $s_{\max.}$ , sendo  $s_{\max.} \leq 4 \cdot s_{\min.}$ . Nesse último caso, um valor efetivo de espaçamento pode ser usado, dado por:

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{\min.} + 0,25 \cdot s_{\max.}$$

A distância entre os centros de gravidade da seção até a linha neutra da peça (ver Figura 7) é calculada conforme a seguinte equação:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i}$$

$$a_1 = \left( \frac{h_1 + h_2}{2} \right) - a_2 \quad \text{e} \quad a_3 = \left( \frac{h_2 + h_3}{2} \right) + a_2$$

onde

- $a_i$  é a distância do centroide da área de cada elemento que compõe a seção transversal até a linha neutra x-x;
- $h_i$  é a altura de cada parte dos elementos componentes da seção transversal com  $h_3$  nulo para seção T;
- $b_i$  é a largura de cada parte dos elementos componentes da seção transversal.

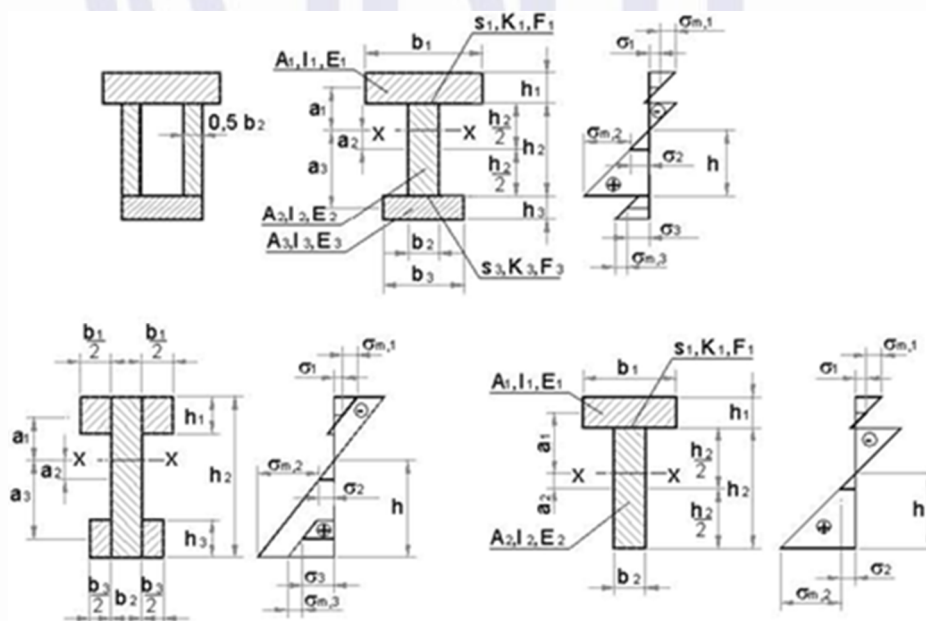


Figura 7 – Seções transversais e distribuição de tensões

Assim é possível o cálculo da rigidez efetiva considerando a rigidez da ligação, conforme a seguir:

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2)$$

onde

- $I_i$  é o momento de inércia de cada elemento componente da seção transversal ( $I_i = b_i \cdot h_i^3 / 12$ ).

Da mesma forma, são equacionadas as tensões normais e cisalhantes atuantes nas peças, bem como a força aplicada nos elementos de ligação ocasionada pelo deslizamento entre as peças.

Para vigas com geometria de seção transversal conforme Figura 7, as tensões normais devem ser calculadas somando as duas parcelas indicadas a seguir:

$$\sigma_i = \gamma_i \cdot E_i \cdot a_i \cdot \frac{M}{(EI)_{ef}}$$

$$\sigma_{m,i} = 0,5 \cdot E_i \cdot h_i \cdot \frac{M}{(EI)_{ef}}$$

onde

$M$  é o momento fletor;

$\sigma_i$  é a tensão normal no centroide do elemento “i”;

$\sigma_{m,i}$  é a parcela da tensão normal na extremidade do elemento “i”;

$E_i$  é o módulo de elasticidade do elemento “i”.

A máxima tensão normal na peça composta ocorre na extremidade superior ou inferior do elemento é calculada conforme a seguinte equação:

$$\sigma_{\max.} = \sigma_i + \sigma_{m,i}$$

onde

$\sigma_{\max.}$  tensão normal máxima na extremidade do elemento “i”.

A máxima tensão cisalhante ocorre onde a tensão normal é nula. A tensão máxima de cisalhamento na alma da viga é calculada conforme a seguinte equação:

$$\tau_{2,\max.} = (\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h_2^2) \cdot \frac{V}{b_2 \cdot (EI)_{ef}}$$

onde

$V$  é a força máxima de cisalhamento.

A força aplicada no conector ( $F_i$ ) é dada por.

$$F_i = \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i \cdot s_i \cdot \frac{V}{(EI)_{ef}} \quad \text{para } i = 1 \text{ e } 3.$$

### 6.7.3 Peças compostas com alma em treliça

As peças compostas com alma em treliça formada por tábuas diagonais devem ser dimensionadas à flexão simples ou composta, considerando exclusivamente as peças dos banzos tracionado e comprimido, sem redução de suas dimensões. A alma dessas vigas e as suas ligações com os respectivos banzos devem ser dimensionadas a cisalhamento como se a viga fosse de seção maciça.

#### 6.7.4 Peças formadas por lamelas de madeira colada

Entende-se por madeira lamelada colada (MLC) para fins estruturais, peças de madeira engenheirada em processo industrializado de fabricação, composta de lamelas coladas umas às outras e dispostas com as fibras paralelas ao eixo longitudinal da peça final. Entende-se por madeira lamelada colada cruzada (MLCC) ou *Cross Laminated Timber* (CLT), para fins estruturais, painéis de madeira engenheirada em processo industrializado de fabricação, constituídos por lamelas de madeira maciça dispostas lateralmente formando camadas cruzadas ortogonalmente entre si.

As lamelas possuem dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões do elemento estrutural final.

Na produção das lamelas, as tábuas são unidas longitudinalmente por ligação de extremidade com extremidade (emendas denteadas), até atingirem o comprimento necessário.

Na produção das peças de MLC, as lamelas são sobrepostas e coladas até atingirem a seção transversal determinada no dimensionamento da peça estrutural, cujo eixo pode ser reto ou curvo. Na produção dos painéis de MLCC, as camadas são sobrepostas ortogonalmente e coladas até atingirem a seção transversal determinada no dimensionamento. Os painéis devem ser planos e possuir ao menos três camadas.

A qualidade do produto final depende de várias etapas do processo de fabricação, devendo as características de resistência e rigidez dos elementos de MLC e MLCC serem asseguradas pelos fabricantes para cada componente do processo.

Vigas de MLC curvas, vigas com dupla inclinação e vigas com a parte superior reta e parte inferior curva (*boomerang*) devem ser analisadas individualmente.

##### 6.7.4.1 Espécies de madeira

Deve ser evitada a composição de um mesmo elemento de MLC e MLCC com espécies diferentes, ou que apresentem diferentes coeficientes de retração. Caso isto ocorra, devem ser comprovadas as compatibilidades das propriedades físicas e mecânicas entre as espécies e a não ocorrência de delaminação, ao longo do tempo. Não é permitida a utilização de madeira de demolição ou de madeira de reutilização para fabricação elementos de MLC ou MLCC.

##### 6.7.4.2 Densidade da madeira

Devem ser empregadas lamelas com densidade aparente (para um teor de umidade de 12 %) entre 0,40 g/cm<sup>3</sup> e 0,75 g/cm<sup>3</sup>. No caso de peças com densidade superior a 0,75 g/cm<sup>3</sup>, deve ser feita uma avaliação criteriosa do comportamento das juntas coladas.

##### 6.7.4.3 Tratamento preservativo

As lamelas utilizadas na fabricação de peças de MLC e MLCC devem ser tratadas com produtos e processos que assegurem a durabilidade e proteção biológica conforme a ABNT NBR 16143, sem prejuízo à aderência da cola. O tratamento preservativo também pode ser realizado após a fabricação das peças de MLC, desde que não provoque alterações nas juntas coladas, conforme a Seção 12 e a ABNT NBR 16143.

##### 6.7.4.4 Teor de umidade das lamelas

No processo de secagem, deve-se procurar a homogeneização do teor de umidade do lote de tábuas. Visando evitar a ocorrência de defeitos prejudiciais à colagem, devido a alterações no teor de umidade

das tábuas, o processo de composição das peças deve iniciar no menor tempo possível, após a secagem e estabilização do teor de umidade do lote a ser utilizado. No momento da colagem, as tábuas empregadas no processo de fabricação da MLC e MLCC devem estar secas e com no máximo 18 % de teor de umidade, não sendo permitida variação superior a 5 % entre lamelas adjacentes.

#### 6.7.4.5 Classificação da madeira

O lote de madeira, do qual são produzidas as tábuas, deve passar pelo enquadramento nas classes de resistência especificadas nesta Norma. As tábuas que compõem as lamelas devem passar também por uma classificação visual seguida de uma classificação pelo módulo de elasticidade de acordo com a ABNT NBR 7190-2.

##### 6.7.4.5.1 Classificação visual

A classificação visual pode ser a olho nu, com auxílio de instrumentos de aumento de imagem, ou ainda, equipamentos de imagem e sensores em processo informatizado, indicada conforme a seguir.

- a) para os nós e grãos na composição das lamelas devem ser utilizadas tábuas que apresentem nó que ocupe menos de  $\frac{1}{4}$  de sua seção transversal final, medula que ocupe menos de  $\frac{1}{6}$  de sua largura final e inclinação das fibras inferior a  $6^\circ$ . Só devem ser aceitas rachaduras longitudinais e que tenham extensão inferior a 30 cm;

Tábuas que atendam a 6.7.4.5.1-a), mas que possuam nós que ocupem mais de  $\frac{1}{4}$  de sua seção transversal final, podem ser selecionadas, mas devem ter esses nós eliminados e substituídos por ligação de continuidade.

- b) para os anéis de crescimento: no caso de coníferas, devem ser selecionadas apenas as tábuas que apresentem no mínimo três anéis de crescimento em 2,5 cm, medido em uma direção radial representativa.

##### 6.7.4.5.2 Classificação pelo módulo de elasticidade

As tábuas que compõem as lamelas devem passar por uma classificação mecânica prévia, não destrutiva, para a determinação do módulo de elasticidade na flexão ( $E_m$ ) que deve ser considerado como de referência para o processo de composição das peças. Essa classificação permite agrupar um sublote superior com tábuas de  $E_m$  acima da média representativa das tábuas da espécie empregada e um sublote inferior com tábuas de  $E_m$  abaixo dessa média.

O módulo de elasticidade médio na flexão, considerado como representativo do lote de tábuas da espécie a ser utilizada, deve ser obtido do ensaio preliminar de 12 tábuas escolhidas aleatoriamente.

A cada mudança da procedência da madeira fornecida, esse ensaio deve ser repetido e sempre que houver diferença maior que 10 %, com relação ao valor médio que considerado para a madeira da mesma espécie, o mesmo deve ser substituído por esse novo valor que passa a ser o módulo de elasticidade médio representativo do lote.

As tábuas do sublote de  $E_m$  superior devem ser destinadas a compor as lamelas que fazem parte das quartas partes mais afastadas da linha neutra da peça de MLC e as de  $E_m$  inferior devem ser utilizadas na composição da metade central da seção transversal dessa peça.

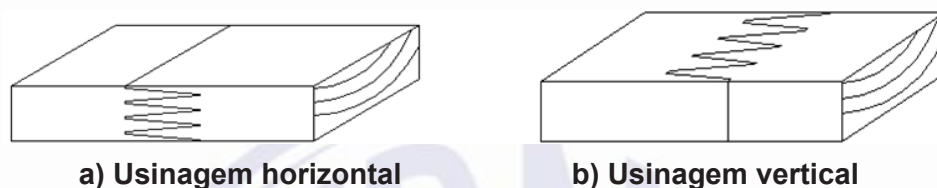
Para as espécies de crescimento rápido, deve ser observado ainda que, no caso do sublote de  $E_m$  superior, as tábuas com maior número de anéis de crescimento em 2,5 cm, devem ser utilizadas na composição das lamelas que ficam mais afastadas da linha neutra.



#### 6.7.4.6 União longitudinal das tábuas e composição das lamelas

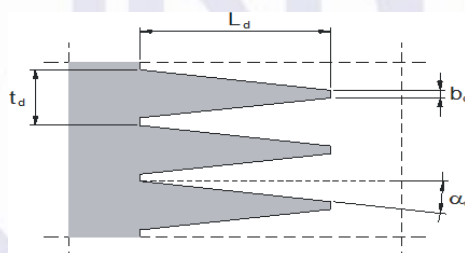
A continuidade de cada lamela deve ser assegurada pela união longitudinal entre as tábuas que as compõem. Essa união deve ser realizada por colagem de entalhes múltiplos usinados (emendas denteadas) nas extremidades de tábuas consecutivas. As emendas denteadas podem ser usinadas verticalmente ou horizontalmente (ver Figura 8).

As emendas de topo não podem ser empregadas no processo de fabricação de peças estruturais de MLC e de MLCC.



**Figura 8 – Emendas de topo denteadas**

A geometria dos entalhes múltiplos deve ser compatível com os esforços solicitantes estruturais e o passo do dente definido em função do seu comprimento, inclinação de seus flancos e espessura de sua extremidade, conforme a Figura 9.



#### Legenda

- $L_d$  comprimento dos dentes
- $b_d$  espessura da extremidade dos dentes
- $t_d$  passo dos dentes
- $\alpha_d$  inclinação dos flancos dos dentes
- $g_d$  grau de enfraquecimento ocasionado pelos dentes ( $b_d/t_d$ )

**Figura 9 – Parâmetros geométricos das emendas denteadas**

Para grandes esforços solicitantes, a espessura da extremidade dos dentes deve ser de até 5 % de seu comprimento e a inclinação dos flancos compreendida entre 5° e 7°, conforme a seguir:

$$b_d \leq 0,05 \cdot L_d \quad \text{e} \quad \alpha_d \text{ entre } 5^\circ \text{ e } 7^\circ$$

O grau de enfraquecimento ( $g_d$ ) na região dos entalhes múltiplos não pode exceder 20 %, em relação à resistência da madeira sem emenda e isenta de defeitos, ou seja:  $50 \cdot b_d / (L_d \cdot \tan \alpha_d + b_d) \leq 20$ .

#### 6.7.4.7 Distâncias mínimas entre emendas

As distâncias mínimas recomendadas são válidas para o caso das faces maiores da seção transversal das lamelas estarem posicionadas paralelas ao plano da linha neutra. No caso de as faces maiores



da seção transversal das lamelas estarem ortogonais ao plano da linha neutra, ou a combinação das duas disposições, a eficiência deve ser ensaiada em laboratórios reconhecida competência.

#### 6.7.4.7.1 Distância mínima entre emendas na mesma lamela

Na confecção de uma lamela que compõe as quartas partes mais afastadas do eixo baricêntrico horizontal, a distância mínima entre as emendas é de 80 cm. Para uma lamela que compõe a metade central da seção transversal, a distância mínima entre emendas é 50 cm.

#### 6.7.4.7.2 Distância mínima entre emendas contíguas

Na composição final da peça de MLC, na região das quartas partes mais afastadas do eixo baricêntrico horizontal, a distância mínima entre lamelas adjacentes é de 20 cm.

#### 6.7.4.8 Espessura das lamelas

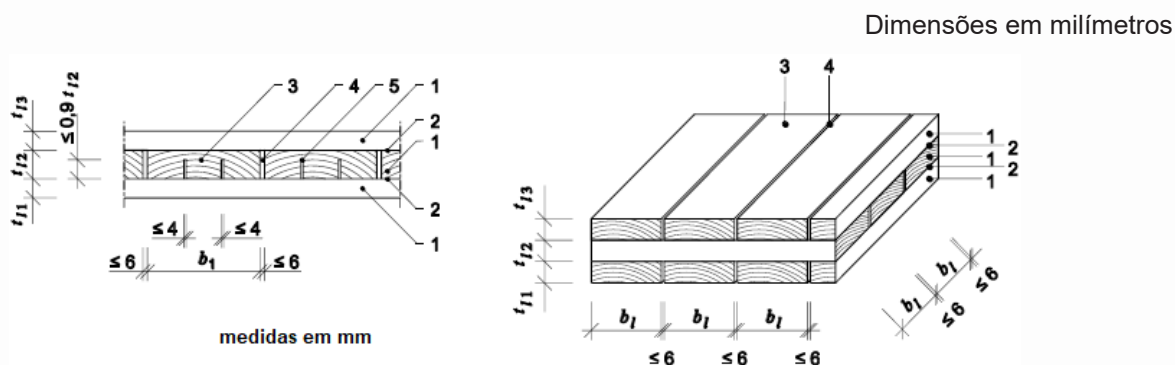
Para MLC, em nenhuma hipótese, a espessura final de cada lamela deve exceder 50 mm. No caso de peças curvas, a espessura final de cada lamela deverá atender também ao limite máximo de  $(1/150)$  do raio de curvatura da face interna da lamela para o caso de madeiras com densidade aparente até  $0,50 \text{ g/cm}^3$  e  $(1/200)$  para o caso de madeiras com densidade aparente superior a  $0,50 \text{ g/cm}^3$ .

Para MLCC, a espessura final de qualquer camada deve ser maior ou igual a 6 mm e menor ou igual a 60 mm.

#### 6.7.4.8.1 Sulcos e colagem lateral para MLCC

A fim reduzir o empenamento e a rachaduras da madeira, as lamelas podem ser sulcadas. Os sulcos devem ter no máximo a profundidade de 90 % da espessura da lamela, e uma largura máxima de 4 mm, conforme a Figura 10.

Lamelas adjacentes podem ter ou não colagem lateral. A largura dos espaços entre as lamelas adjacentes deve ser menor ou igual a 6 mm, conforme a Figura 10. A largura final  $b_1$  de qualquer lamela sem colagem lateral, o espaço entre sulcos na mesma lamela e a distância entre um sulco e a lateral da lamela devem ser maiores ou igual a 40 mm. A largura final  $b_1$  de qualquer lamela deve ser menor ou igual a 300 mm.



#### Legenda

- |   |                                 |   |                          |
|---|---------------------------------|---|--------------------------|
| 1 | camadas de madeira              | 4 | espaços entre as lamelas |
| 2 | linhas de cola entre as camadas | 5 | sulcos nas lamelas       |
| 3 | lamelas                         |   |                          |

**Figura 10 – Limites de vão entre lamelas e sulcos nas lamelas do MLCC**

- a) painel constituído de cinco ou mais camadas;
- b) duas camadas adjacentes somando uma espessura total máxima de 90 mm coladas paralelamente às fibras na direção de um dos eixos principais do painel, como na Figura 10-b).
- c) quando colar duas camadas adjacentes longitudinais, deve-se intercalar o espaço entre lamelas (ver Figura 11, Legenda (4)).

The diagram illustrates a multi-layered plate with alternating layers of thickness  $h_1$  and  $h_2$ , and width  $b_1$  and  $b_2$ . The total thickness is  $h$  and the total width is  $b$ . The diagram shows the layers and the resulting stress distribution.

A 3D perspective view of a multi-layered composite plate. The plate consists of several layers, with the top layer labeled '4' and the bottom layer labeled '3'. The total thickness of the plate is denoted by  $h$ . The plate is divided into three longitudinal sections, each with a width of  $b/3$ . The total width of the plate is  $b$ . The plate is also divided into three transverse sections, each with a thickness of  $h/3$ . The total thickness is  $h$ . The plate is shown with various layers and interfaces, with labels  $h/3$  and  $b/3$  indicating the dimensions of the individual sections.

- 1 camadas de madeira  $6 \leq t_1 \leq 60$  e  $40 \leq b_1 \leq 300$
- 2 linhas de cola entre as camadas
- 3 lamelas
- 4 espaços entre as lamelas

#### 6.7.4.8.3 Adesivos para MLC e MLCC e processo de colagem

NOTA Recomenda-se a comprovação experimental realizada por laboratórios nacionais ou internacionais de reconhecida competências, tanto para as emendas denteadas, como para os elementos estruturais fabricados.

#### 6.7.4.8.4 Pressão de colagem nas juntas de cola (face de colagem)

Na ausência de recomendação do fabricante da cola ou comprovação de desempenho da qualidade da colagem (conforme ABNT NBR 7190-6 e ABNT NBR 7190-7), deve-se observar que na colagem das peças de MLC e MLCC a junta de cola entre lamelas deve receber uma pressão mínima, de 0,7 MPa para madeiras de densidade inferior ou igual a 0,5 g/cm<sup>3</sup>, e de 1,2 MPa para madeiras de densidade superior a 0,5 g/cm<sup>3</sup>.

#### 6.7.4.8.5 Pressão de colagem das ligações de continuidade das lamelas

Os entalhes múltiplos devem ser colados sob a pressão indicada na Tabela 10, em função do comprimento do dente ( $L_d$ ) e da densidade da madeira. No entanto, deve ser observado que a pressão empregada não exceda o limite que provoque fissura longitudinal de extensão superior a 5 mm, na região do fundo dos dentes. Na colagem dos entalhes múltiplos, o tempo de prensagem deve ser de no mínimo 2 s.

**Tabela 10 – Pressão de colagem das ligações de continuidade das lamelas**

$L_d$ mm	Pressão de colagem MPa	
	Densidade $\leq 0,50$ kg/m <sup>3</sup>	Densidade $> 0,50$ kg/m <sup>3</sup>
10	12	14
20	8	10
30	6	8
40	4,5	6,5
50	3	5
60	2	4

#### 6.7.4.8.6 Prensagem

Devem ser seguidas as recomendações do fabricante do adesivo relativas a tempo, temperatura, pressão e umidade da madeira e relativa do ambiente.

#### 6.7.4.9 Limitações dimensionais e de resistência mecânica

O dimensionamento de peças estruturais em MLC deve estar de acordo com esta Norma quanto ao dimensionamento de peças serradas. Nas peças fletidas, com seção constante, a largura mínima da seção transversal deve ser 1/7 da altura da peça; naquelas com seção variável, as extremidades de menor altura não podem ser inferior a  $L/30$  e a inclinação não pode ultrapassar 5°. O coeficiente parcial de modificação  $k_{mod3}$  para MLC deve levar em conta os fatores de modificação conforme a seguinte equação:

$$k_{mod3} = C_e \cdot C_c \cdot C_t$$

O coeficiente de modificação da emenda de entalhes múltiplos ( $C_e$ ), fator de redução causado pela emenda de entalhes múltiplos, deve ser considerado por  $C_e = 0,95$ . Em peças sem emendas longitudinais,  $C_e = 1,00$ .

O coeficiente de modificação devido à curvatura ( $C_c$ ) é:

- a) em peças retas:  $C_c = 1,00$ ;
- b) em peças curvas:  $C_c = 1 - 2000 \cdot (t/r)^2$ .

onde

- $t$  é a espessura das lamelas;
- $r$  é o menor raio de curvatura das lamelas que compõem a seção transversal resistente.

Para o coeficiente de modificação de temperatura ( $C_t$ ), em peças estruturais expostas a temperaturas elevadas quando em uso, deve-se adotar os fatores de modificação indicados na Tabela 11, devido à natureza intrínseca do material.

Tabela 11 – Fatores de modificação  $C_t$

Tipo de propriedade	Teor de umidade da madeira em serviço	Temperatura ambiente °C		
		°C ≤ 38	38 < °C ≤ 52	52 < °C ≤ 66
Tração paralela e módulo de elasticidade	Seca ou úmida	1,0	0,9	0,9
Demais propriedades e ligações	Seca < 16 %	1,0	0,8	0,7
	Úmida ≥ 16 %	1,0	0,7	0,5

6.7.4.10 Rigidez à flexão do elemento estrutural

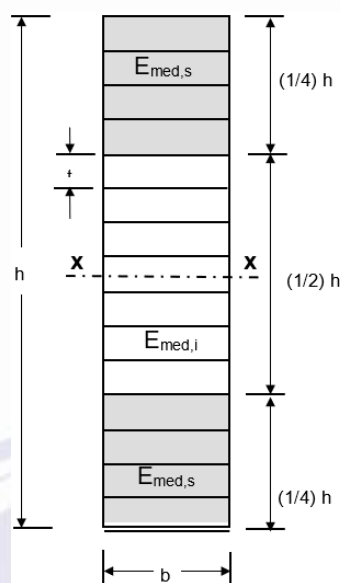
6.7.4.10.1 Rigidez à flexão do elemento estrutural de MLC

A rigidez à flexão de uma peça de MLC deve ser calculada pelo método da seção transformada, considerando o módulo de elasticidade de cada lamela que a compõe. No caso de peça constituída com a combinação de lamelas com módulo de elasticidade à flexão do lote de valores superior empregado nas quartas partes mais afastadas da linha neutra, e lamelas com módulo de elasticidade à flexão do lote de valores inferior empregado na metade central da seção transversal, conforme a Figura 12, a rigidez pode ser calculada conforme a seguinte equação:

$$EI = 2 \cdot E_{med,s} \cdot I_{(1/4)} + E_{med,i} \cdot I_{(1/2)}$$

onde

- $EI$  é a rigidez à flexão do elemento estrutural;
- $E_{med,s}$  é o valor médio dos módulos de elasticidade do lote de valores superior;
- $E_{med,i}$  é o valor médio dos módulos de elasticidade do lote de valores inferior;
- $I_{(1/4)}$  é o momento de inércia da quarta parte mais afastada, em relação ao eixo baricêntrico (x);
- $I_{(1/2)}$  é o momento de inércia da metade central da seção transversal, em relação ao eixo baricêntrico (x).



**Figura 12 – Seção transversal mostrando a combinação de lamelas com diferentes módulos de elasticidade à flexão**

Se o número de lamelas para compor as camadas identificadas como  $(1/4)h$  não for um valor inteiro, arredondar o valor de acordo com o seguinte critério: se a parcela decimal for igual ou superior a 0,5, arredondar para o valor inteiro superior; caso contrário, desprezar a parcela decimal e tomar apenas o valor inteiro.

Na hipótese de o número de camadas com  $E_{med,s}$  ser diferente de  $1/4h$ , o  $EI$  deve ser determinado pelo Método da Seção Transformada.

#### 6.7.4.10.2 Rigidez do elemento estrutural de MLCC

##### 6.7.4.10.2.1 Condições gerais

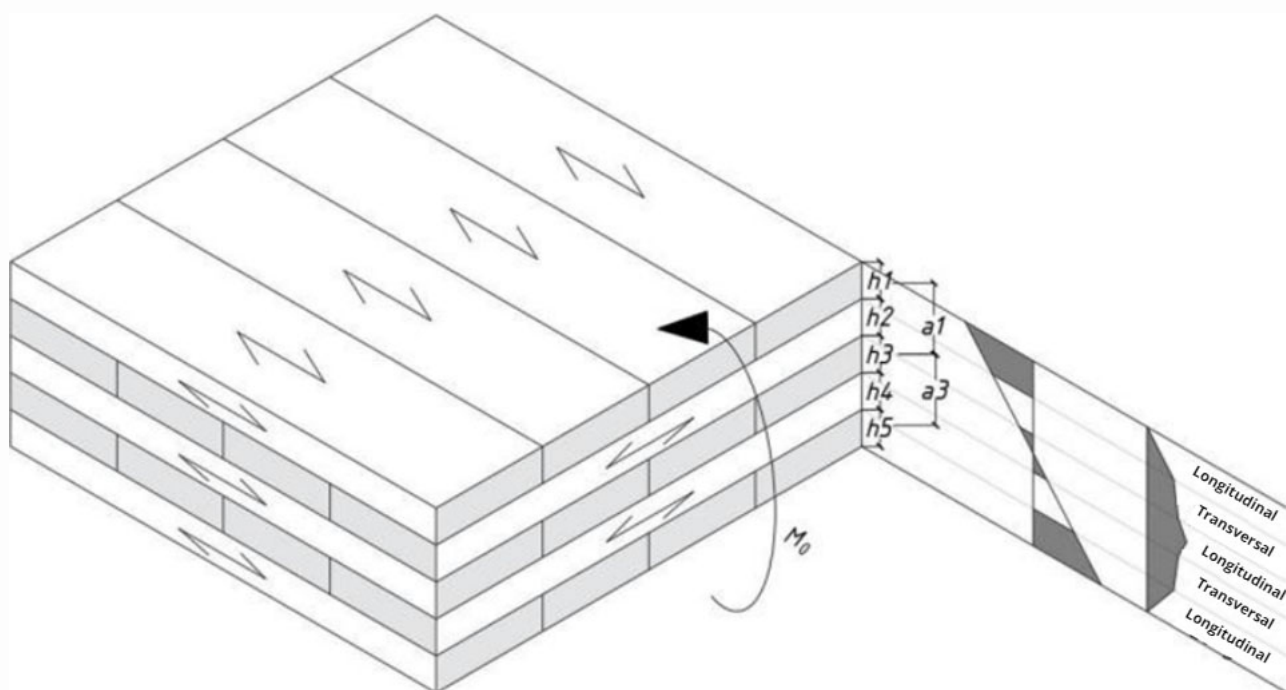
Para o painel de MLCC de 3 e 5 camadas, a verificação dos estados-limite últimos deve ser analisada com o valor da seção transversal líquida, sem considerar as deformações por cisalhamento, e no caso de haver direção predominante na distribuição do carregamento, o painel pode ser calculado como uma viga de largura  $b = 1\text{ m}$ .

Na verificação para o estado-limite de serviço, a deformação por cisalhamento deve ser considerada por meio da seção transversal efetiva, obtida pelo método de cálculo em 6.7.2 para peças compostas com adaptação do valor gamma.

Nos casos de carregamentos que não sejam distribuídos uniaxialmente, como por exemplo, pontos que recebem pilares, apoios em ângulo, aberturas, bem como demais situações, como número maior de camadas, devem ser calculados por métodos de cálculos específicos para MLCC, que podem ser normas internacionais ou materiais da literatura, desde que de fonte oficial e devidamente citados e referenciados no memorial de cálculo.

Para o dimensionamento de MLCC com carga perpendicular ao plano do painel (elemento de piso e cobertura), no estado-limite de utilização, é necessário o cálculo da seção transversal líquida. A Figura 13 ilustra os dados geométricos dos painéis com e sem simetria, bem como a representação básica das curvas de tensão.





**Figura 13 – Seção transversal do painel de MLCC designando as dimensões da seção transversal e representação básica das curvas de tensão em um painel simétrico**

Para painéis com seção transversal simétrica, a posição do centro de gravidade é determinada com os eixos de simetria. Para seções transversais não simétricas, como as resultantes do uso de classes de resistência diferentes, do uso de painéis de madeira (compensados) como uma camada, redução da seção transversal ou tratamento da superfície com fogo (tipo pirólise), a posição do centro de gravidade representado por  $Z_{CG}$  deve ser determinada conforme a seguir:

- para seção transversal de camadas com diferentes módulos de elasticidade: escolher um módulo de elasticidade de referência  $E_c$ ;
- determinar a posição do centro de gravidade  $O_i$  para cada camada a partir da superfície superior;
- calcular o centro de gravidade total a partir da equação:

$$Z_{CG} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot b_i \cdot h_i \cdot O_i}{\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot b_i \cdot h_i}$$

#### 6.7.4.10.2.2 Elementos básicos

Os demais parâmetros básicos do MLCC a serem determinados são os seguintes:

- área líquida da seção transversal, conforme a seguinte equação:

$$A_{0,liq} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} b h_i$$

- módulo de resistência à flexão líquido, conforme a seguinte equação:

$$W_{0,liq} = \frac{I_{0,liq}}{\max. \{ |Z_{sup}|; |Z_{inf}| \}}$$



c) momento de inércia líquido, conforme a seguinte equação:

$$I_{0,liq} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot \frac{b \cdot h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot b \cdot h_i \cdot a_i^2$$

onde

$Z_{inf}$  é a distância da borda superior da primeira camada até o centro de gravidade do painel, ver Figura 13;

$Z_{sup}$  é a distância da borda inferior da última camada até o centro de gravidade do painel (ver Figura 13);

$a_i$  é a distância entre o centro de gravidade da peça ( $Z_{cg}$ ) e o centro da camada, conforme Figura 13;

$n$  é o número de camadas longitudinais;

d) tensões, conforme a seguinte equação.

$$\sigma_{Md} = \frac{E_i}{E_c} \cdot \frac{M_{y,d}}{W_{0,liq}}$$

Para elementos estruturais com riscos de flambagem, a influência da deformação por cisalhamento deve ser considerada para a verificação contra a flambagem para elementos planos. Esta pode ser considerada de acordo com o momento de inércia efetivo  $I_{eff}$  conforme 6.7.2 (Método Gamma). Portanto, o comprimento de flambagem  $l_{ki}$  pode ser assumido com o comprimento de referência  $l_{ref}$ . O raio de giração é obtido pela equação:

$$i_{y,eff} = \sqrt{\frac{I_{eff}}{A_{0,liq}}}$$

Flambagem sobre o eixo Z somente deve ser considerada para paredes-colunas muito esbeltas conforme 6.5.5.

A determinação da inércia efetiva do painel conforme 5.7.2, considerando o elemento redutor  $\gamma$ , é calculada pela equação a seguir:

$\gamma_i = 1$  para camadas transversais e/ou central;

$\gamma_i = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i}{L_{ef}^2} \cdot \frac{h_j}{G_{vt} b}}$  para camadas longitudinais;

onde

$h_j$  é a altura da camada j do painel;

$G_{vt}$  é o módulo de elasticidade transversal da camada j;

$b$  é a largura do painel;

$E_i$  é o módulo de elasticidade longitudinal da camada i;

- $A_i$  é a área da seção transversal das camadas longitudinais;
- $i$  é a camada a qual será aplicado o fator de moderação da parcela proposta;
- $j$  são as camadas sob o efeito do cisalhamento *rolling shear*, adjacentes à camada  $i$  e próximas ao centro.

Para os cálculos dos índices  $a$ ,  $h$  e da rigidez do painel de MLCC devem ser adotados os procedimentos descritos em 5.7.2.

#### 6.7.4.11 Propriedades de resistência e rigidez do painel de madeira lamelada colada cruzada (MLCC)

A resistência e a rigidez do painel de MLCC se referem ao módulo de elasticidade, resistência à flexão, resistência à compressão, resistência à tração e resistência ao cisalhamento, e devem ser obtidas por meio de ensaios para painéis de madeira lamelada colada cruzada. O relatório específico deve conter as informações geométricas e demais propriedades relevantes, como: medidas da seção transversal, espessura e orientação das camadas, sulcos (caso sejam usados), presença de colagem lateral (caso sejam usadas) e relação entre largura da lamela e espessura.

As propriedades de resistência e rigidez do painel de madeira lamelada colada devem ser determinadas por ensaios, de acordo com a ABNT NBR 7190-7. No entanto, os valores do cisalhamento na camada transversal (*rolling shear*) e qualquer valor de resistência ou rigidez devem ser comprovados pelo fabricante.

NOTA a comprovação é mediante apresentação de relatório emitido por laboratórios nacionais ou internacionais de reconhecida competência.

#### 6.7.4.12 Considerações sobre fabricação e comercialização

Além das especificações desta Norma, na fabricação tanto de peças para usos estruturais em madeira lamelada colada, madeira lamelada colada cruzada, como em qualquer outro tipo de compósitos estruturais de madeira, deve ser informado e assegurado pelo fabricante, todas as classes e módulos de resistências a serem utilizados em cálculos estruturais, assim como todas as características de uso, conservação e manutenção, e o tipo de preservativo, o processo adotado e a classe de utilização. A eficiência dos produtos fabricados pelas indústrias deve ser de acordo com a ABNT NBR 7190-6 e ABNT NBR 7190-7.

NOTA a comprovação é baseada em laudos técnicos emitidos por laboratórios nacionais ou internacionais de reconhecida competência e controles de qualidade na fabricação.

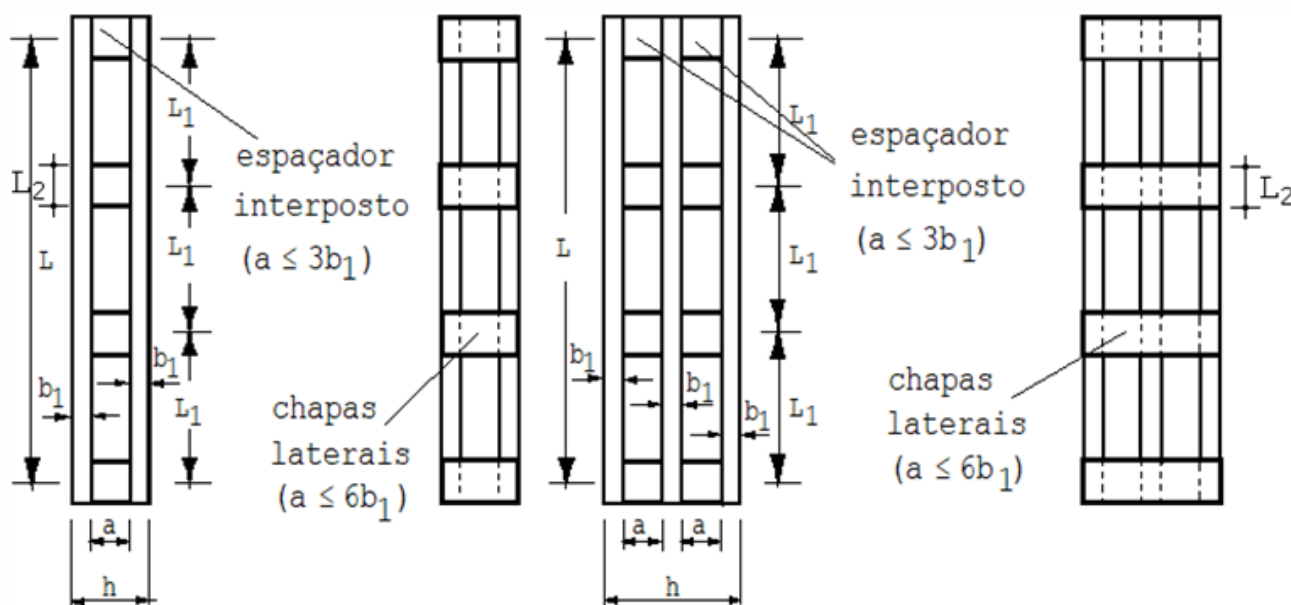
### 6.8 Estabilidade de peças compostas

#### 6.8.1 Peças solidarizadas continuamente

A estabilidade das peças compostas por elementos justapostos solidarizados continuamente pode ser verificada como se elas fossem maciças, atendendo a 6.7, e limitando a esbeltez a 140.

#### 6.8.2 Peças solidarizadas descontinuamente

As peças compostas solidarizadas descontinuamente por espaçadores interpostos ou por chapas laterais de fixação, conforme a Figura 14, devem ter sua segurança verificada em relação ao estado-limite último de instabilidade global.



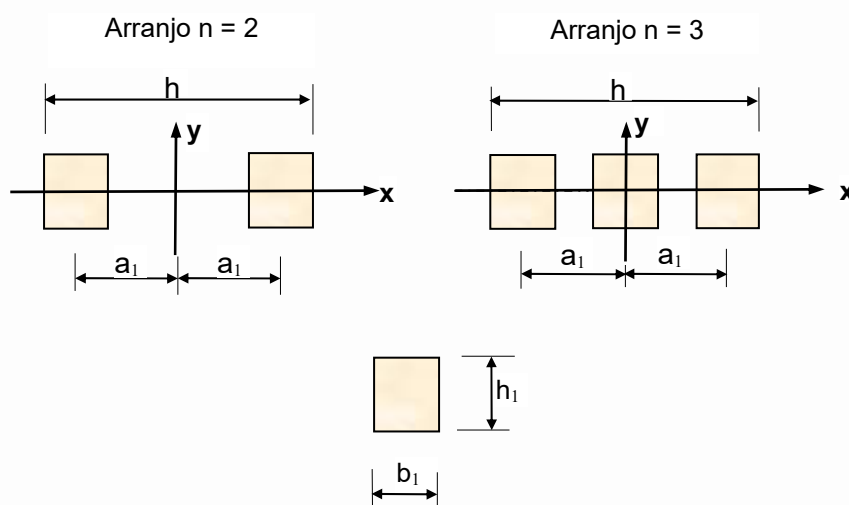
**Figura 14 – Peças solidarizadas descontinuamente**

Para as peças compostas por dois ou três elementos de seção transversal retangular, permite-se a verificação especificada por esta Norma, atendendo às especificações de 6.5.4, como se elas fossem de seção maciça, nas condições adiante estabelecidas.

Os espaçadores devem estar igualmente afastados entre si ao longo do comprimento  $L$  da peça. A sua fixação aos elementos componentes deve ser feita por ligações com pregos ou parafusos, conforme 7.2.

Permite-se que estas ligações sejam feitas com apenas dois parafusos ajustados dispostos ao longo da direção do eixo longitudinal da peça, afastados entre si de no mínimo  $4d$  e das bordas do espaçador de pelo menos  $7d$ , desde que o diâmetro de pré-furação  $d_0$  seja feito igual ao diâmetro  $d$  do parafuso.

A altura  $L_2$  da seção transversal dos espaçadores (ver Figura 14) deve atender à condição: para espaçadores interpostos e, para chapas laterais de fixação.



**Figura 15 – Seções compostas por dois ou três elementos iguais**

Para a verificação da flambagem segundo o eixo x, correspondente a deslocamentos na direção do eixo y, estabelecidos de acordo com a Figura 15, a capacidade de carga da seção total pode ser considerada igual à soma de carga de cada elemento individual que compõe a seção.

Para a verificação da flambagem em torno do eixo y, deve ser considerada uma esbeltez eficaz determinada de acordo com as equações a seguir:

a) seção de um elemento componente:

$$A_1 = b_1 h_1$$

b) seção composta por dois elementos:

$$A_{\text{tot}} = 2A_1$$

$$I_{\text{tot}} = \frac{h_1 \left[ (2b_1 + a)^3 - a^3 \right]}{12}$$

c) seção composta por três elementos:

$$A_{\text{tot}} = 3A_1$$

$$I_{\text{tot}} = \frac{h_1 \left[ (3b_1 + 2a)^3 - (b_1 + 2a)^3 + b_1^3 \right]}{12}$$

d) determinação do índice de esbeltez efetivo referente à flambagem no eixo y:

$$\lambda_{\text{ef},y} = \sqrt{\lambda^2 + n \frac{\eta}{2} (\lambda_1)^2}$$

onde

$$\lambda = L \sqrt{\frac{A_{\text{tot}}}{I_{\text{tot}}}}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \frac{L_1}{b_1}$$

$n$  é a quantidade de elementos constituintes da seção composta;

$\eta$  é o fator definido na Tabela 12.

**Tabela 12 – Fator  $\eta$**

Classe de carregamento	Espaçadores interpostos			Chapas laterais	
	colados	pregados	parafusados	coladas	pregadas
Permanente ou longa duração	1	4	3,5	3	6
Média duração ou curta duração	1	3	2,5	2	4,5

A segurança dos espaçadores e de suas ligações com os elementos componentes deve ser verificada para um esforço de cisalhamento cujo valor convencional de cálculo é conforme a seguinte equação:

$$F_{V,d} = V_d \frac{L_1}{a_1}$$

Sendo

$$V_d = \begin{cases} \frac{N_{c,d}}{120 \cdot k_{cy}} & \text{para } \lambda_{ef,y} < 30 \\ \frac{N_{c,d} \cdot \lambda_{ef,y}}{3600 \cdot k_{cy}} & \text{para } 30 \leq \lambda_{ef,y} < 60 \\ \frac{N_{c,d}}{60 \cdot k_{cy}} & \text{para } \lambda_{ef,y} \geq 60 \end{cases}$$

Dispensa-se a verificação da estabilidade local dos trechos de comprimento  $L_1$  dos elementos componentes, desde que respeitadas as limitações:

- $9b_1 \leq L_1 \leq 18b_1$ ;
- $a \leq 3b_1$  para peças interpostas;
- $a \leq 6b_1$  para peças com chapas laterais.

## 7 Ligações

### 7.1 Generalidades

#### 7.1.1 Tipos de ligação

As ligações mecânicas tradicionais em peças de madeira podem ser divididas em quatro grupos em função do modo de transmissão da força entre os elementos conectados:

- a) ligações por pinos metálicos;
- b) ligações por anéis metálicos e chapas com dentes estampados;
- c) ligações por sambladuras ou entalhes;
- d) ligações coladas.

As ligações por pinos possuem comportamento regido por um misto de flexão do pino e/ou embutimento do pino na madeira. Se enquadram no primeiro grupo as ligações com parafusos passantes com porcas e arruelas (sextavado e francês), parafusos de rosca soberba, pregos e pinos metálicos ajustados.

As ligações por anéis metálicos e chapas com dentes estampados transmitem as forças entre os elementos de madeira de forma distinta da anterior, 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, levando-se em consideração a inclinação

dessa compressão em cada elemento. Deve-se avaliar também os esforços de cisalhamento na região dessas ligações. Elementos com seções reduzidas pelos entalhes devem ser verificados aos esforços solicitantes com essa seção reduzida.

As ligações coladas são aquelas formadas pela união entre elementos de madeira serrada por meio de adesivos estruturais. As peças de madeira serrada 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 (ou *finger-joint* em inglês) produzidas sob controle de qualidade industrial, devem atender aos requisitos do fabricante do adesivo e a ABNT NBR 7190-6:2022, 4.3. Os valores de resistência mecânica de peças de madeira serrada unidas por emendas denteadas devem ser apresentados pelo fornecedor de acordo com os valores da Tabela 3. As peças de madeira serrada unidas por emendas denteadas podem ser utilizadas como peças simples de madeira serrada em sistemas estruturais redundantes (por exemplo o *woodframe*) ou empregadas no processo de fabricação de peças estruturais de MLC e MLCC.

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 em 7.1.10 e em 7.1.10, para evitar o fendilhamento precoce da madeira em virtude da introdução dos elementos de união. Não são permitidas 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 a seguir:

$$F_{V,Ed} \leq F_{90,Rd}$$

Tomando-se  $F_{V,Ed}$  como o maior valor entre os valores, têm-se  $F_{V,Ed,1}$  e  $F_{V,Ed,2}$  (ver Figura 16).

onde

$F_{V,Ed}$  é a força de cisalhamento de cálculo atuante na região da ligação;

$F_{V,Ed,1}$  e  $F_{V,Ed,2}$  são respectivamente os valores da força cortante imediatamente à esquerda e à direita da ligação;

$F_{90,Rd}$  é a força resistente de cálculo, calculada a partir da força característica  $F_{90,Rk}$ , definida por:

$$F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

onde

$b, h$  são respectivamente a largura e a altura do elemento de madeira verificado, expressa em milímetros (mm);

$h_e$  é a distância do conector mais afastado até a borda do elemento, expressa em milímetros (mm);

$F_{90,Rk}$  é a força resistente característica à tração normal localizada, expressa em Newtons (N).



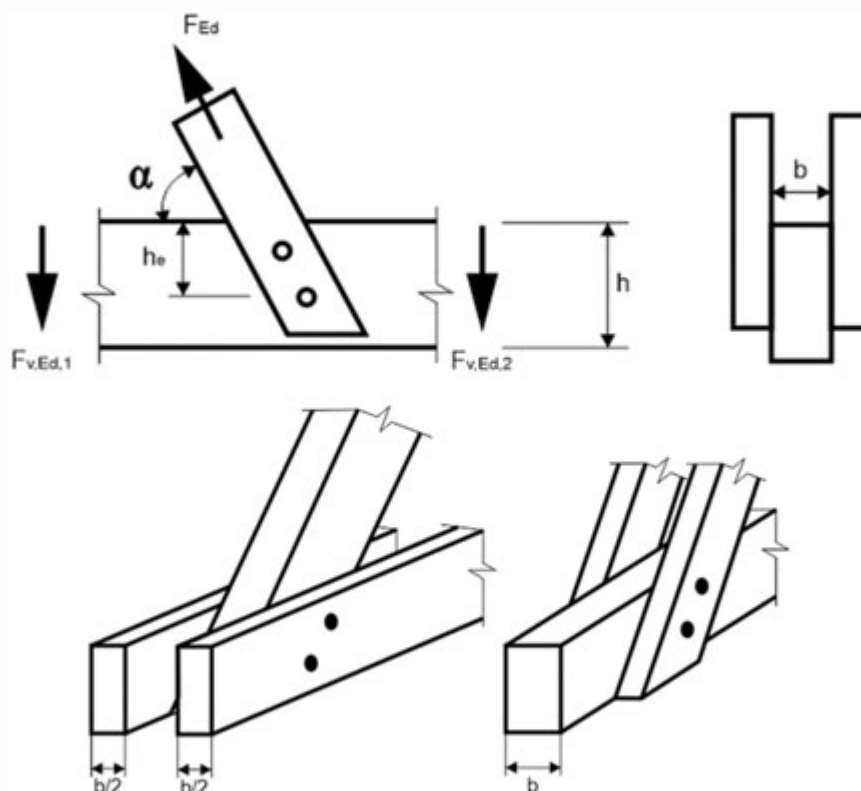


Figura 16 – Tração perpendicular às fibras em ligações

### 7.1.2 Critério de dimensionamento

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

$$R_d \geq S_d$$

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 conforme a seguinte equação:

$$R_d = k_{\text{mod}1} \cdot k_{\text{mod}2} \cdot \frac{R_k}{\gamma_{\text{lig}}}$$

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

No dimensionamento de ligações com o uso de conectores em aço, não se pode utilizar valor de  $k_{\text{mod}1}$  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 a ABNT NBR 7190-5. Na ausência da determinação experimental específica, admite-se a utilização das metodologias em 7.1.3, 7.1.4, 7.1.5, 7.1.6 e 7.1.7.

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.

### 7.1.3 Resistência de embutimento da madeira

Em relação à resistência de embutimento da madeira, esta 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 em 6.2.5.

### 7.1.4 Momento resistente do pino metálico

O momento resistente característico do pino metálico  $M_{y,k}$  em N·mm deve ser determinado pela seguinte equação

$$M_{yR,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6}$$

onde

$f_{u,k}$  é a resistência última característica à tração do aço do pino metálico, conforme as ABNT NBR ISO 898-1, ASTM A-307, ASTM A-325, ASTM A-490 e ABNT NBR 5589, expressa em megapascal (MPa);

$d$  é o diâmetro nominal do pino metálico conforme a ABNT NBR 8800, expresso em milímetros (mm).

### 7.1.5 Ligações excêntricas

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.

### 7.1.6 Ligações com cola

A utilização de cola nas ligações deve atender às especificações técnicas comprovadamente satisfatórias, assim como descrito em 7.1.1. Somente pode ser colada madeira seca em estufa.

### 7.1.7 Efeito de grupo para ligações com pinos

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.

Nas 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  $n_{ef}$

$$n_{ef} = 8 + \frac{2}{3} \cdot (n_c - 8)$$

### 7.1.8 Ligações com múltiplas seções de corte

As ligações com múltiplas seções de corte a resistência de cada plano de corte devem ser determinadas considerando que cada plano de corte é parte de uma ligação na configuração em duplo corte.

### 7.1.9 Características dos elementos de ligação

Os elementos de ligação utilizados em estruturas de madeira devem atender às seguintes dimensões e resistências mínimas (ver Tabela 13):

- 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;

**Tabela 13 – Materiais usados em pinos metálicos**

Especificação do pino metálico	Classificação	$f_{y,k}$ MPa	$f_{u,k}$ MPa	Diâmetro nominal mínimo
Prego liso com cabeça padrão ABNT NBR 6627	ABNT NBR 5589	-	635	$3,00 \geq d \geq 3,54$ mm
		-	600	$3,55 \geq d \geq 4,99$ mm
		-	490	$5,00 \geq d \geq 10,00$ mm
Parafuso passante padrão o ASTM	A307	250	415	$d \geq 3/8$ pol ou $d \geq 10$ mm
	A325	635	825	
	A490	895	1 035	
Parafuso passante padrão ISO 898-1	Classe 4.6	235	400	$d \geq 10$ mm
	Classe 8.8	640	800	
	Classe 10.9	900	1 000	
Parafuso de rosca soberba		250	415	$d \geq 3/8$ pol ou $d \geq 9,5$ mm

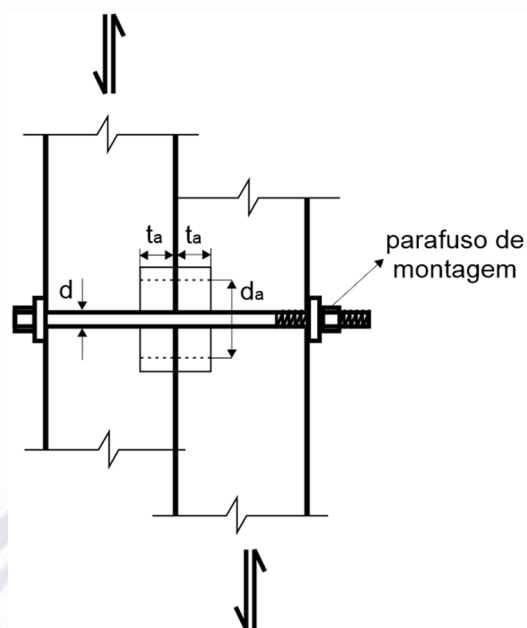


Figura 17 – Ligações com anéis metálicos

#### 7.1.10 Espaçamentos entre elementos de ligação

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. Nas ligações de mais de três peças conectadas, os pregos devem ser espaçados de modo que os espaçamentos sejam atendidos nas peças internas e externas. Nas ligações em que forem usados anéis metálicos, os espaçamentos devem ser aplicados em ranhuras previamente feitas nas peças de madeira, com ferramentas apropriadas. No caso de anéis metálicos,  $d_a$  é o diâmetro efetivo do anel considerado como o diâmetro interno do mesmo.

**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 3d Maior entre $[(a_{3,t}  \sin \alpha )] d$ e d
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	7 d	4 d	
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	7 d	$(1 + 6  \sin \alpha ) d$	
Distância $a_{4,t}$ (borda lateral carregada)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	Para $d < 5$ mm: $(3 + 2 \sin \alpha) d$ Para $d \geq 5$ 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

**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)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,75 d_a$

Os índices da Tabela 14 e 15 são os seguintes:

- $a_1$  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.

Os espaçamentos da Tabela 14 estão representados na Figura 18.

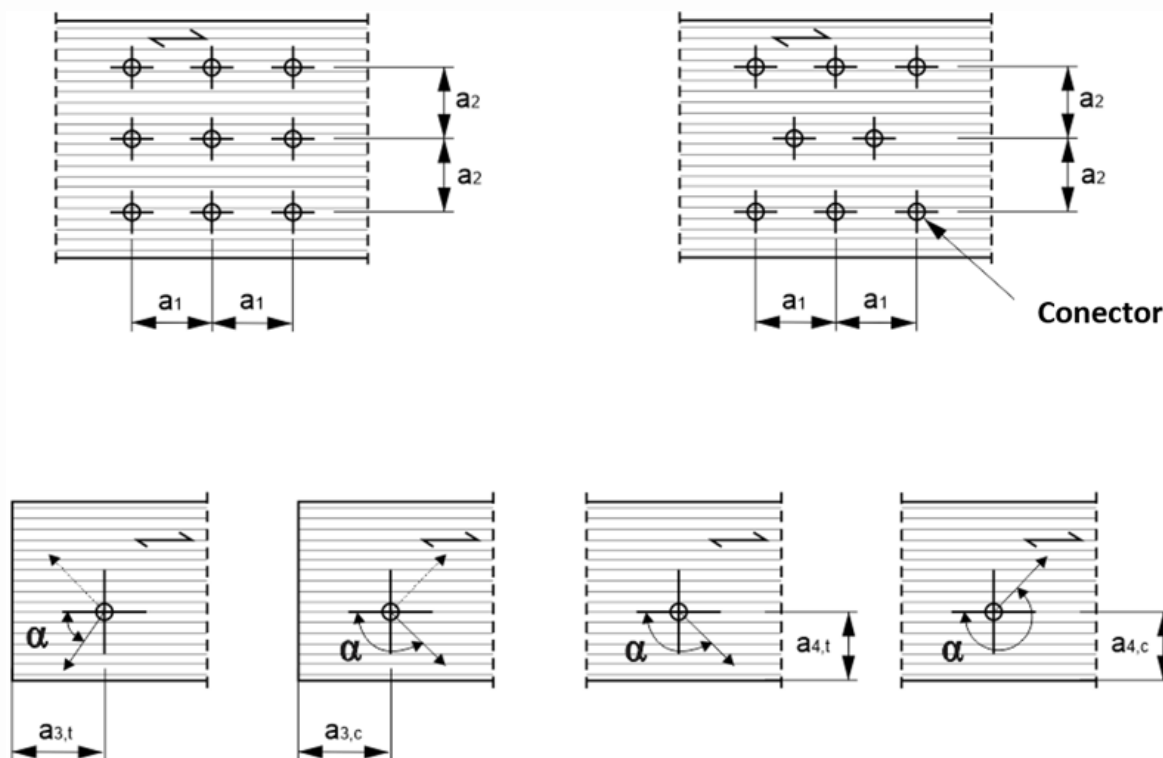


Figura 18 – Espaçamentos e distâncias mínimas para ligações com conectores metálicos

### 7.1.11 Pré-furação das ligações

Em uniões pregadas, deve ser feita a pré-furação da madeira, com diâmetro  $d_0$  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  $10 \cdot d$ .

**NOTA** 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 apresenta o diâmetro de pré-furação para ligações em madeira.

**Tabela 16 – Diâmetro de pré-furação para ligações em madeira**

Pino metálico	Diâmetro de pré-furação
Pregos	Coníferas $d_0 = 0,85 d$ Folhosas: $d_0 = 0,98 d$
Parafusos passantes	$d \leq d_0 \leq d + 1\text{mm}$
Parafusos com rosca soberba	$d_0 = 0,70 d$

### 7.1.12 Rigidez de ligações

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.

**Tabela 17 – Valores de  $K_{ser}$  para conectores em N/mm**

Conectores	$K_{ser}$
Pinos Parafuso de porca e arruela com ou sem folga <sup>a</sup> Parafuso Autoatarraxante Prego (com pré-furação)	$\rho_{med}^{1,5} \frac{d}{23}$
Prego (sem pré-furação)	$\rho_{med}^{1,5} \frac{d^{0,8}}{30}$
Anel Metálico	$\frac{\rho_{med} d_c}{80}$
<sup>a</sup> A folga pode ser adicionada separadamente da deformação. <b>Legenda</b> $K_{ser}$ é a rigidez de serviço de uma seção de corte de um pino metálico, expresso em Newton por milímetros (N/mm). $\rho_{med}$ é a densidade específica média em kg/m <sup>3</sup> , dado pela multiplicação da densidade aparente característica pelo valor 1,20. $d$ é o diâmetro efetivo do pino metálico, expresso em milímetros (mm).	

Para ligações com elementos de madeira de diferentes densidades, a densidade média  $\rho_{med}$  deve ser calculada conforme a seguinte equação:

$$\rho_{med} = \sqrt{\rho_{1,med} \cdot \rho_{2,med}}$$

onde

$\rho_{1,med}$  é a densidade do elemento 1 de madeira;

$\rho_{2,med}$  é a densidade do elemento 2 de madeira.

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 a seguinte equação:

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser}$$

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.

## 7.2 Resistência característica de ligações de elementos de madeira com pinos metálicos

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:

$$R_k = F_{v,Rk} \cdot n_{sp} \cdot n_{ef}$$

onde

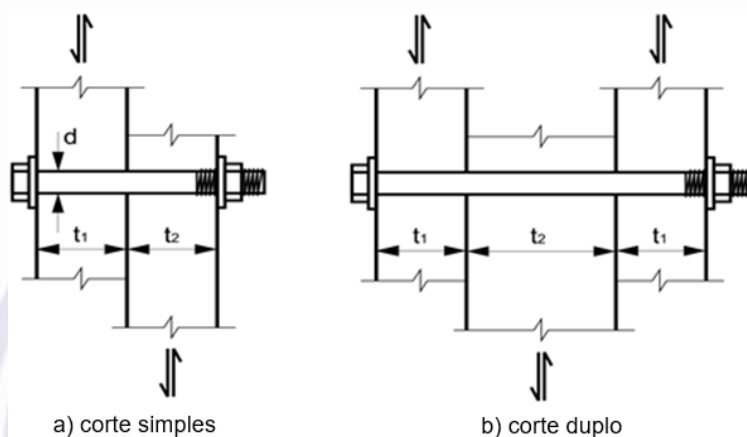
$n_{sp}$  é a quantidade de seções de corte por pino metálico,  $n_{ef}$  é o número efetivo de pinos por ligação, conforme 7.1.7;

$F_{v,Rk}$  é a resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

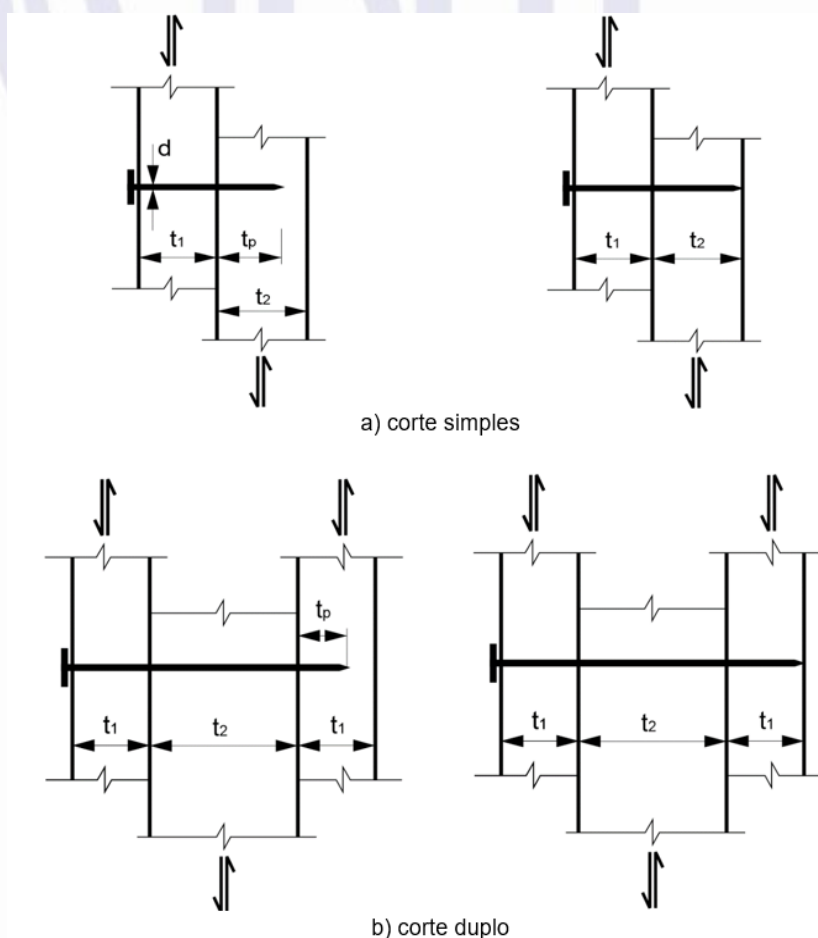
Para que a ligação possa ser considerada resistente, devem ser atendidas as especificações de espaçamentos conforme 7.1.10, de pré-furação conforme 7.1.11, e as seguintes:

- 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. A Figura 19 ilustra a configuração de corte simples e duplo para ligações com parafusos passantes com porca e arruela;
- 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  $t_1$ . A Figura 20 ilustra a configuração de corte simples e duplo para ligações com pregos;

- e) 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 (ver Figura 21);
- f) 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  $t_1$ .



**Figura 19 – Ligações de elementos de madeira com parafusos passantes com porca e arruelas**



**Figura 20 – Ligações de elementos de madeira com pregos**

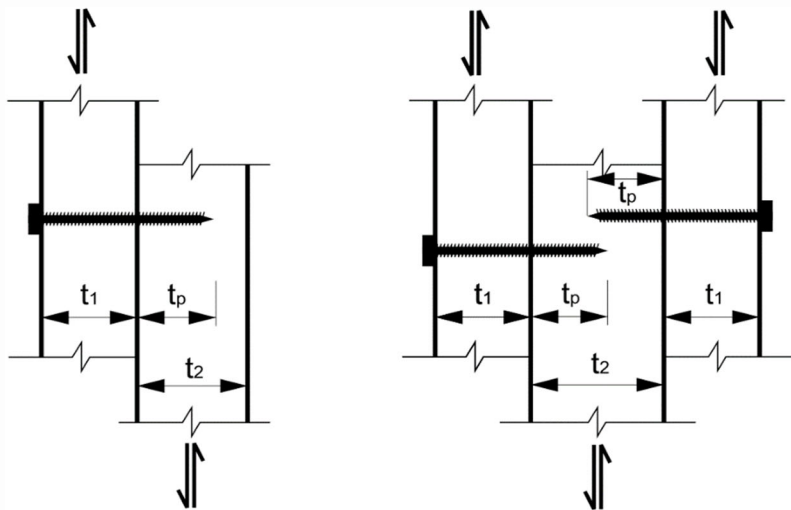


Figura 21 – Ligações de elementos de madeira com parafusos de rosca soberba em corte simples

A resistência característica de uma seção de corte de um pino é determinada como o menor valor dentre os obtidos pelas Equações indicadas na Tabela 17 ou Tabela 18, 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.

Tabela 18 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (uma seção de corte) (continua)

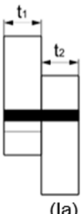
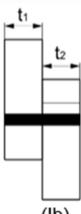

Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
 (Ia)	$F_{V,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$
 (Ib)	$F_{V,Rk2} = f_{e1,k} t_2 d \beta$
 (Ic)	$F_{V,Rk3} = \frac{f_{e1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Tabela 18 (conclusão)

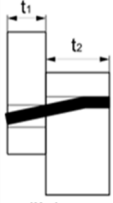
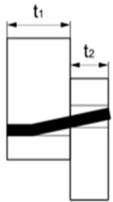
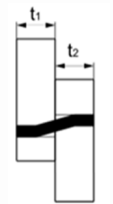
Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
 (IIa)	$F_{V,Rk4} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
 (IIb)	$F_{V,Rk5} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
 (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.	

Tabela 19 – Modos de falha e equações para ligações de elementos de madeira com pinos metálicos (duas seções de corte) (continua)

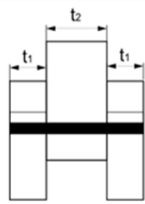
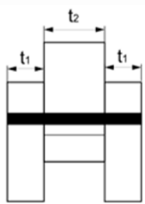
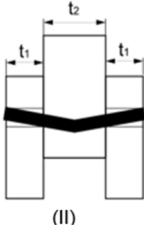
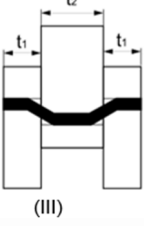
Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
 (Ia)	$F_{V,Rk1} = f_{e1,k} t_1 d$
 (Ib)	$F_{V,Rk2} = 0,5 f_{e1,k} t_2 d \beta$

Tabela 19 (conclusão)

Modo de falha	Força característica calculada por plano de corte e por pino utilizado
 (II)	$F_{V,RK3} = 1,05 \frac{f_{e1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,k}}{f_{e1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
 (III)	$F_{V,RK4} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
$F_{V,RK}$ é o menor valor dentre os resultados dos quatro modos de falha.	

O valor  $\beta$  é a razão entre as resistências de embutimento das peças de madeira interligadas sendo dado por:

$$\beta = \frac{f_{e2,k}}{f_{e1,k}}$$

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 %).

Recomenda-se 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.



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

Não é permitida a consideração do efeito de confinamento para os pinos metálicos ajustados, sem a presença de porcas e arruelas.

### 7.3 Resistência característica de ligações de elementos de madeira e aço com pinos metálicos

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:

$$R_k = F_{V,Rk} \cdot n_{sp} \cdot n_0$$

onde

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

$n_0$  é o número efetivo de pinos por ligação, conforme 7.1.7;

$F_{V,Rk}$  é a resistência característica de um pino, correspondente a uma dada seção de corte.

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  $0,5 d$  são classificadas como chapas finas e, chapas com espessura maior ou igual a  $d$  e diâmetro de pré-furação menor ou igual a  $1,1 d$  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 em 7.1.10 e 7.1.11, respectivamente, os espaçamentos e o diâmetro de pré-furação das chapas de aço, conforme a ABNT NBR 8800, bem como as seguintes:

- 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 (ver Figura 22);
- o diâmetro efetivo do prego não pode ser maior do que  $1/5$  (um quinto) da menor espessura dentre as peças de madeira ligadas. Permite-se que o diâmetro efetivo do prego seja maior que  $1/4$  (um quarto) da espessura da peça de madeira mais delgada, desde que o diâmetro da pré-furação seja igual ao diâmetro efetivo do prego. Em ligações localizadas, a penetração da ponta do prego na peça de madeira ( $t_p$ ) deve ser de pelo menos  $12 d$  ou igual à espessura dessa peça (ver Figura 23);
- o diâmetro efetivo do parafuso de rosca soberba não pode ser maior do que  $1/5$  (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 de rosca soberba na peça de madeira ( $t_p$ ) deve ser de pelo menos  $6 d$  ou igual à espessura dessa peça (ver Figura 24).

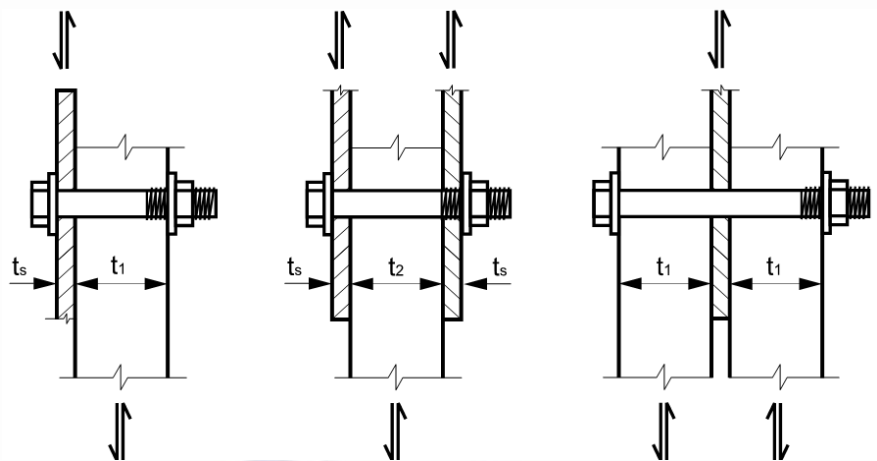


Figura 22 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos passantes

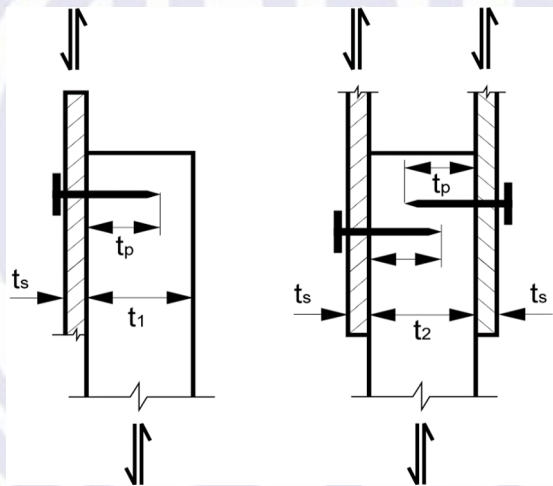


Figura 23 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com pregos em corte simples

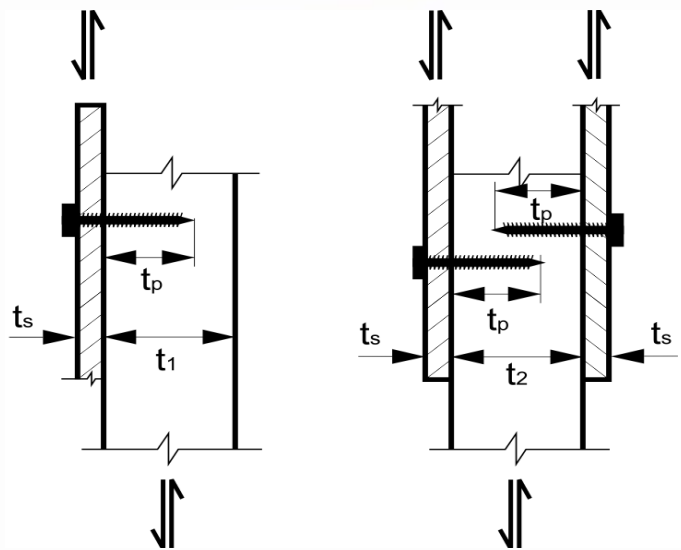


Figura 24 – Configurações de ligações de elementos de madeira e aço com parafusos de rosca soberba em corte simples

A força característica por plano de corte e por pino metálico deve ser considerada como o menor valor dentre os resultados das equações indicadas a seguir:

— 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

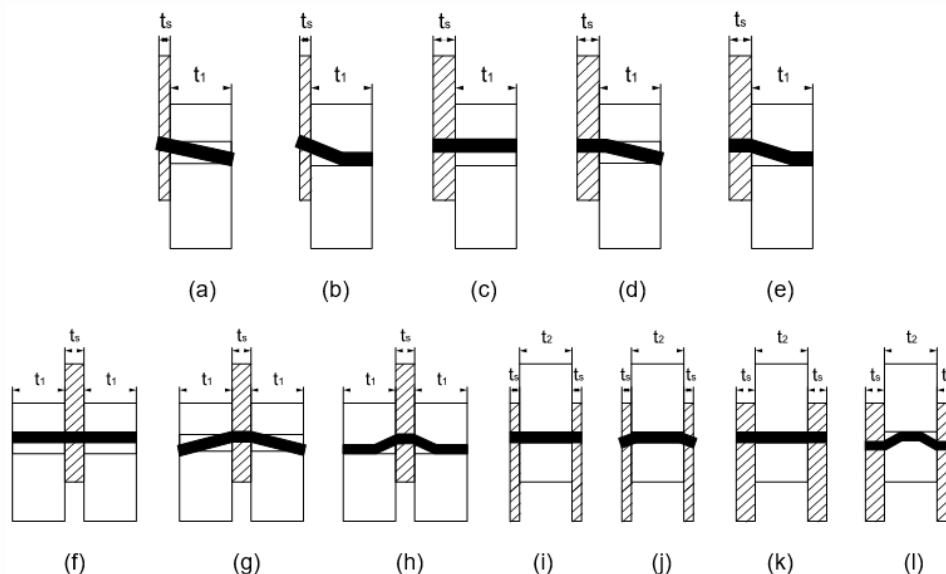
$t_1$  é a menor espessura dentre os elementos de madeira laterais, para os casos em corte simples e corte duplo;

$t_2$  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.

Na Figura 25, estão ilustrados os modos de falha para ligações com chapas de aço e pinos metálicos.



**Figura 25 – Modos de falha para determinação da força característica de ligações com pinos metálicos e chapas de aço**

A contribuição da resistência ao arrancamento  $F_{ax,Rk}$  bem como a contribuição do Efeito de Corda  $F_{ax,Rk} / 4$  devem atender às especificações em 7.2.

#### 7.4 Resistência característica de ligações em madeira com anéis metálicos

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:

$$R_k = F_{V,Rk} \cdot n_a$$

onde

$n_a$  é a quantidade de anéis empregados na ligação;

$F_{V,Rk}$  é a resistência característica de um anel metálico, correspondente a uma dada seção de corte.

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.

O valor de cálculo da resistência ao cisalhamento da madeira correspondente a um anel metálico é calculado conforme a seguir e indicado pelo menor dos valores entre as duas equações.

$$F_{V,Rk} = \frac{\pi \cdot d_a^2}{4} \cdot f_{v0,k}$$

$$F_{V,Rk} = t_a \cdot d_a \cdot f_{c\alpha,k}$$

onde

$t_a$  é a profundidade de penetração do anel em cada peça de madeira;

$d_a$  é o diâmetro interno, como apresentado na Figura 17;

$f_{c\alpha,k}$  é o valor característico da resistência à compressão inclinada de  $\alpha$ .

## 7.5 Ligações em madeira com chapas com dentes estampados

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.

## 8 Estados-limites de serviço

### 8.1 Verificação

Na verificação da segurança das estruturas de madeira, devem ser considerados os estados-limite de serviço caracterizados por:

- deslocamentos excessivos, que afetam a utilização normal da construção ou seu aspecto estético;
- danos em materiais não estruturais da construção em decorrência de deformações da estrutura;
- vibrações excessivas.

As condições usuais de verificação de segurança relativas aos estados-limite de serviço são expressas por desigualdade conforme indicado a seguir:

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

onde

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

$S_{d,serv}$  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.

Considerando que a madeira possui características distintas de outros materiais de construção, como por exemplo, a significativa deformação ao longo do tempo (fluência), as verificações quanto aos critérios de segurança em estados-limite de serviço devem ser consideradas adotando a combinação rara de serviço conforme a ABNT NBR 8681 para a avaliação das flechas instantâneas.

Para os deslocamentos instantâneos, desconsiderando os efeitos da fluência, é calculado conforme a seguinte equação:

$$\delta_{inst} = \sum_{i=1}^m \delta_{inst,Gi,k} + \delta_{inst,Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} \delta_{inst,Qj,k}$$

Para a avaliação das flechas finais deve-se considerar a combinação quase permanente e os efeitos da fluência conforme as equações a seguir:

$$\delta_{fin} = \sum_{i=1}^m \delta_{fin,Gi,k} + \sum_{j=1}^n \delta_{fin,Qj,k}$$

$$\delta_{\text{fin,G,k}} = \delta_{\text{inst,G,k}} + \delta_{\text{creep,Q,k}} = \delta_{\text{inst,G,k}} (1 + \varnothing)$$

$$\delta_{\text{fin,Qj,k}} = \delta_{\text{inst,Qj,k}} + \delta_{\text{creep,Qj,k}} = \delta_{\text{inst,Qj,k}} \psi_2 (1 + \varnothing)$$

**Tabela 20 – Coeficiente de fluência ( $\phi$ )**

Para a verificação de estados-limite de serviço em sistemas estruturais como treliças de cobertura e pórticos de madeira com ligações realizadas por elementos metálicos, deve-se considerar além das deformações nos elementos de madeira também as deformações das ligações, considerando a rigidez das ligações  $K_{ser}$  conforme 7.1.12.

Em construções especiais, como formas para concreto estrutural (ver ABNT NBR 15696), escoramentos, torres etc., os deslocamentos limites devem ser estabelecidos conforme acordo entre as partes interessadas.

66



**Tabela 21 – Valores-limite de deslocamentos para elementos correntes fletidos**

Tipo de viga	$\delta_{inst}$	$\delta_{fin}$	$\delta_{net,fin}$
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

As flechas devidas às ações permanentes podem ser parcialmente compensadas por contraflechas na construção, não utilizando valores superiores a 2/3 dos deslocamentos instantâneos permanentes  $\left(\sum_{i=1}^M \delta_{inst,gi,k}\right)$ .

Nas construções em que haja materiais frágeis ligados à estrutura, como forros, pisos e divisórias, cuja fissuração não possa ser evitada por meio de disposições construtivas adequadas, a verificação da segurança em relação aos estados-limite de deslocamentos procura evitar danos a esses materiais não estruturais; além dos limites de deslocamentos respectivos indicados na Tabela 20, as flechas instantâneas devido somente às ações variáveis () não podem superar 1/500 dos vãos ou 1/250 do comprimento dos balanços correspondentes, nem o valor absoluto de 15 mm.

Nos casos de flexão oblíqua, os limites anteriores de flechas podem ser verificados isoladamente para cada um dos planos principais de flexão.

### 8.3 Valores-limite de vibrações

Em construções submetidas a fontes de vibração, devem ser adotadas disposições construtivas que evitem a presença de vibrações excessivas da estrutura. Nas estruturas sobre as quais o público em geral pode caminhar, devem ser evitadas vibrações que tragam desconforto aos usuários.

No caso particular de pisos sobre os quais as pessoas andem regularmente, como os de residências e escritórios, a menor frequência natural de vibração dos elementos da estrutura do piso não pode ser inferior a 8 Hz. Para esta finalidade, as placas compostas por elementos diagonais podem ser assimiladas a peças maciças.

## 9 Disposições construtivas

### 9.1 Disposições gerais

O sistema estático deve ser definido de forma a assegurar a segurança estrutural quando da determinação dos esforços solicitantes e dos deslocamentos na estrutura. Nesse sentido e quando pertinente, devem ser consideradas as rigidezes das ligações conforme apresentado em 7.1.12.

Para evitar a deterioração rápida das peças, devem ser tomadas precauções como: tratamento preservativo adequado, facilidade de escoamento das águas e arejamento de faces vizinhas e paralelas. Sempre que possível, todas as peças da estrutura devem ser projetadas de modo a oferecer facilidade de inspeção.

As peças porventura sujeitas a uma deterioração mais rápida que o resto da estrutura devem ser facilmente substituíveis, tomando-se as precauções para facilitar essas operações, que devem ser consideradas como parte normal dos trabalhos de conservação.

No caso de pontes ferroviárias lastradas, os pranchões resistentes, dispostos transversalmente, devem ser de madeira tratada. Em pontes rodoviárias ou para pedestres, sem revestimento protetor, deve-se admitir uma camada de desgaste com pelo menos 2 cm de espessura.

## 9.2 Dimensões mínimas

### 9.2.1 Dimensões mínimas das seções transversais

Nas peças principais isoladas, como vigas e barras longitudinais de treliças, a área mínima das seções transversais é de 50 cm<sup>2</sup> e a espessura mínima de 5 cm. Nas peças secundárias, esses limites se reduzem respectivamente a 18 cm<sup>2</sup> e 2,5 cm. Nas peças principais múltiplas, a área mínima da seção transversal de cada elemento componente será de 35 cm<sup>2</sup> e a espessura mínima de 2,5 cm. Nas peças secundárias múltiplas, esses limites são reduzidos respectivamente a 18 cm<sup>2</sup> e 1,8 cm.

Em estruturas industrializadas de madeira, as seções mínimas de madeira e os diâmetros mínimos dos pregos e parafusos podem ser inferiores aos mencionados, desde que haja comprovação experimental ou teórica de sua eficiência. Nesses casos, cabe à empresa produtora dessas estruturas o controle de qualidade desses materiais e de sua aplicação.

### 9.2.2 Dimensões mínimas das arruelas

Na fixação de parafusos devem ser usadas arruelas com diâmetro externo de pelo menos 3d (*d* é o diâmetro nominal do parafuso) e espessura de no mínimo 0,3d, conforme ISO 7094.

## 9.3 Esbeltez máxima

Não é permitida a utilização de peças comprimidas de seção retangular cheia ou de peças comprimidas múltiplas cujo comprimento de flambagem  $L_0$ , conforme 6.5.3, exceda 40 vezes a dimensão transversal correspondente. Nas peças tracionadas, esse limite é de 50 vezes.

## 9.4 Ligações

### 9.4.1 Ligações com pinos

Nas regiões de ligação, devem ser evitados lascamentos, nós, ranhuras ou outros defeitos que possam comprometer a resistência da ligação.

A menos que esteja de outra maneira especificada, os pregos devem ser cravados em ângulos aproximadamente retos em relação às fibras da madeira. A superfície das cabeças dos pregos deve estar nivelada com a superfície da madeira.

A pré-furação para pregos e parafusos deve atender a 7.1.11 e 7.1.12, respectivamente.

Os eixos das barras de treliças devem se encontrar, sempre que possível, nas posições teóricas dos nós. Caso isto não ocorra, devem ser considerados os efeitos secundários correspondentes.

Nas ligações, os elementos resistentes devem ser aplicados com a utilização de ferramentas de furar, ranhurar ou fresar.

Os pinos devem ser simetricamente dispostos em relação ao eixo da peça, de modo a reduzir ao mínimo o risco de se afrouxarem simultaneamente, em consequência de um possível fendilhamento da madeira.

### 9.4.2 Ligações na madeira lamelada colada

A fabricação de elementos estruturais de madeira lamelada colada deve ser conduzida em condições de controle industrial. Os adesivos para fins estruturais devem produzir ligações de resistência e durabilidade que a integridade da ligação colada seja mantida por toda a vida esperada da estrutura, na classe de serviço correspondente.

As recomendações dos fabricantes de adesivos em relação à mistura, condições ambientais para aplicação e cura, teor de umidade dos elementos e outros fatores relevantes para o uso adequado do adesivo devem ser atendidos. Nas peças fabricadas com adesivos que necessitem de um período de condicionamento após o período de pega, até que atinjam a resistência completa, deve ser evitada qualquer solicitação pelo tempo necessário.

## 9.5 Execução

### 9.5.1 Disposições gerais

Todo trabalho de carpintaria deve ser feito por profissionais habilitados e deve-se verificar o ajuste de todas as superfícies de ligação. As superfícies de sambladuras, encaixes, ligações de juntas e articulações devem ser feitas de modo a se adaptarem corretamente.

### 9.5.2 Contraflechas

Nas peças em que são dadas contraflechas, a geometria dessa contraflecha deve ser o mais próximo de uma parábola ao longo do vão.

## 9.6 Classificação das peças

O enquadramento de um lote nas classes de resistência somente pode ser feito por fornecedores que assegurem, de acordo com a legislação vigente, a conformidade da resistência característica  $f_{c0,k}$  à compressão paralela às fibras do material com os valores especificados na Tabela 2 para corpos de prova isentos de defeitos ou a conformidade da resistência à flexão  $f_{m,k}$  com os valores especificados na Tabela 3 para peças estruturais.

## 9.7 Diâmetro equivalente para peças de seção circular variável

De acordo com 6.2.7, e as representações indicadas na Figura 27, desde que atendida a relação  $d_{eq} \leq 1,5 d_{min}$ , simplificada, pode-se calcular o diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ) para peças de seção circular variável (peças roliças) por meio da equação a seguir:

$$d_{eq} = d_{min} + \frac{d_{máx.} - d_{mín.}}{3}$$

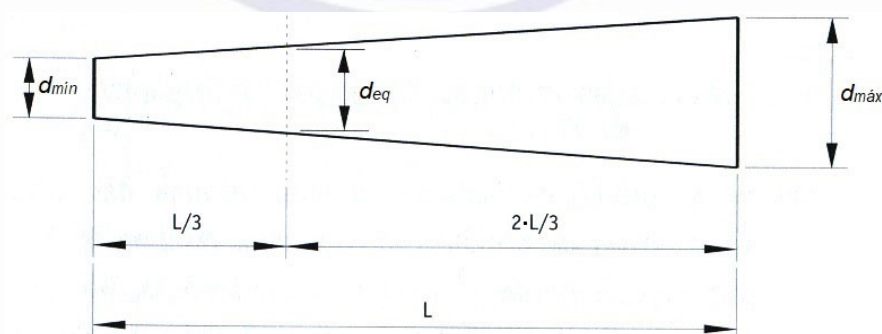


Figura 27 – Posição do diâmetro equivalente ( $d_{eq}$ ) para peças de seção circular variável

## 10 Projeto e execução de estruturas treliçadas de madeira

### 10.1 Generalidades

Esta Seção especifica 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.

## 10.2 Ações

### 10.2.1 Sobrecargas em coberturas

No dimensionamento de estruturas de madeira destinadas a coberturas, devem ser atendidos os requisitos, quanto às ações a serem consideradas, conforme as ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6123 e ABNT NBR 8681.

Para coberturas comuns, com inclinação igual ou superior a 3 %, não sujeitas a carregamentos atípicos, e na ausência de especificação em contrário, deve ser prevista uma sobrecarga vertical característica mínima de 0,25 kN/m<sup>2</sup> de área construída, em projeção horizontal.

Para se considerar o processo construtivo, uma força de 1 kN deve ser prevista na posição mais desfavorável de elementos construtivos com vão superior a 70 cm.

Nas coberturas especiais, a sobrecarga deve ser determinada de acordo com a finalidade desta.

## 10.3 Disposições construtivas

### 10.3.1 Aspectos geométricos

Os requisitos estabelecidos na Seção 9, quanto às disposições construtivas, devem ser atendidos no projeto e execução de estruturas de madeira para coberturas, além de especificações pertinentes a estruturas de coberturas, estabelecidas nas ABNT NBR 6120, ABNT NBR 6123 e ABNT NBR 8681.

As tesouras devem apresentar desvios máximos dos seus planos teóricos, de 1/300 da dimensão da estrutura na direção considerada. Caso este limite seja ultrapassado, na determinação de seus esforços e deformações, deve ser considerada como forma inicial aquela correspondente à posição deformada da estrutura.

Os eixos teóricos das barras devem atender aos limites de curvatura estabelecidos em 6.6.2 para que possam ser considerados retilíneos. Estes eixos também devem concorrer aos nós teóricos da estrutura.

### 10.3.2 Dimensões das seções transversais dos elementos

As propriedades geométricas das seções transversais devem ser adotadas considerando-se as reduções provocadas pelos eventuais processos de aplainamento realizados nas peças, desconsiderando nestes casos suas dimensões nominais.

### 10.3.3 Ligações

O projeto e a execução de nós de estruturas de cobertura não podem adotar para o mesmo nó meios de ligações de tipos diferentes, sem a devida comprovação teórica e experimental.

Para os casos de coberturas sujeitas à inversão de esforços provocada pela ação de ventos, os tipos e respectivos detalhes construtivos, das ligações e dos apoios, a serem adotados devem ser compatíveis com a natureza dos esforços.

As excentricidades dos esforços solicitantes nas ligações, decorrentes de assimetria na disposição de pinos ou conectores, ou ainda de entalhes assimétricos, devem ser consideradas na verificação das seções transversais mais críticas.

## 10.4 Princípios do projeto estrutural

### 10.4.1 Análise simplificada

Na impossibilidade de um cálculo em que se considerem os efeitos das deformações das ligações e outros efeitos específicos, é permitida uma análise simplificada da estrutura em que os esforços solicitantes nos seus elementos sejam determinados, admitindo-se como articulados todos os nós da estrutura sempre que se tratem de sistemas treliçados perfeitamente triangulados na sua conformação geométrica, que atendam as seguintes condições:

- a) não existência de ângulo reentrante no contorno do desenho da estrutura;
- b) eixos dos apoios concorrem ao nó teórico correspondente ao apoio;
- c) altura é superior a 0,15 vezes o vão e a 10 vezes a altura da seção transversal dos seus banzos.

Deve-se levar em conta o efeito interação entre a estrutura de contraventamento e a estrutura principal, adicionando os esforços resultantes das análises destas estruturas como se fossem independentes.

### 10.4.2 Verificação dos estados-limite de serviço

Para determinar os valores dos deslocamentos sofridos pelas tesouras, devem ser considerados além da parcela correspondente ao trabalho elástico das barras, os efeitos da deformação lenta e da deformabilidade das ligações, além dos efeitos compensatórios das contraflechas.

Para as tesouras cuja configuração geométrica for perfeitamente triangulada, na falta de expressões que permitam determinar os efeitos da deformação lenta e da deformabilidade das ligações sobre os seus deslocamentos, admite-se que o valor da respectiva parcela da flecha seja igual ao respectivo valor obtido no cálculo da parcela correspondente às deformações elásticas das barras.

Recomenda-se ainda dar uma contraflecha na estrutura de valor igual a  $L/300$ .

Não é permitida a montagem de estruturas com madeira com teor de umidade acima de 25 %.

## 11 Estruturas de madeira em situação de incêndio

### 11.1 Generalidades

Esta Seção se aplica, onde a segurança estrutural da madeira em situação de incêndio seja necessária, em edifícios destinados à habitação, a uso comercial, industrial e a edifícios públicos.

Para o estudo da madeira exposta ao fogo, as propriedades térmicas e as propriedades relacionadas à resistência e à rigidez são as que mais influenciam seu desempenho. A maioria dessas propriedades está relacionada a fatores intrínsecos à madeira, como a densidade, teor de umidade, orientação da grã, composição química, permeabilidade, condutividade térmica e a fatores extrínsecos como a temperatura e duração da exposição ao fogo e à ventilação no ambiente.

O núcleo da seção se mantém fria a apenas uma pequena distância da zona queimada, conservando grande parte das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Essas características colaboram favoravelmente para a capacidade resistente, mesmo após ter sido exposta a elevadas temperaturas.

Entende-se por dimensionamento em situação de incêndio, a verificação dos elementos estruturais e suas conexões, com ou sem revestimento contra fogo, no que se refere à capacidade resistente



em temperatura elevada, a fim de evitar o colapso da estrutura em condições que prejudiquem a fuga dos usuários da edificação e, quando necessário, a aproximação e o ingresso de pessoas e equipamentos para as ações de combate ao fogo.

Esta Norma apresenta um método simplificado (ou método da seção reduzida) para a verificação da capacidade resistente das estruturas de madeira em situação de incêndio, considerando a redução da seção transversal devido à carbonização da madeira, ressaltando que, ao contrário do que o nome sugere, ou seja “simplificado”, o mesmo vai em direção de um resultado com aumento da seção envolvida (espessura/número de camadas), portanto, mais conservador e a favor da segurança que os demais métodos. Alternativamente, podem ser utilizados métodos avançados de análise térmica com base no EN 1995 1-2, desde que adaptados aos requisitos de segurança estrutural desta Norma, ou resultados de ensaios de resistência ao fogo realizados em laboratório, de acordo com os requisitos apresentados pela ABNT NBR 5628. Para elementos de MLC e MLCC, a delaminação de camadas deve ser considerada caso não exista a comprovação de resistência ao fogo da colagem entre lamelas de madeira. É de responsabilidade do fabricante do adesivo apresentar a informação sobre a resistência ao fogo de seu produto de acordo com ANSI A405, ASTM D7247, ASTM D3535, CSA O170, CSA O112.

## 11.2 Método simplificado de dimensionamento

### 11.2.1 Modelo de incêndio

Deve ser considerado o modelo do incêndio-padrão, que é a elevação padronizada de temperatura em função do tempo, definida na ABNT NBR 5628 e dada pela expressão:  $\theta_g = \theta_0 + 345 \log (8t + 1)$ .

onde

$\theta_0$  é a temperatura em graus celsius (°C);

$t$  é o tempo em minutos (min).

### 11.2.2 Segurança estrutural

A segurança da estrutura em relação a possíveis estados-limite de incêndio é assegurada pelo atendimento às condições analíticas de segurança expressas por:

$$R_{fi,d} \geq S_{fi,d}$$

onde

$R_{fi,d}$  é o esforço resistente de cálculo em situação de incêndio, determinado conforme 11.2.4.  $S_{fi,d}$  é obtido a partir das combinações últimas excepcionais de ações definidas na ABNT NBR 8681, ou pode ser calculado admitindo-as iguais a 60 % das solicitações de cálculo em situação normal (20 °C), ou seja, pode-se fazer:  $S_{fi,d} = 0,60 S_d$ .

Não há necessidade de verificação de estados-limite de serviço em incêndio.

### 11.2.3 Resistências de cálculo

A resistência e o módulo de elasticidade das madeiras em situação de incêndio devem ser determinados conforme as seguintes equações:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{0,2}}{\gamma_{w,fi}}$$



$$E_{ef,fi} = k_{mod,fi} \frac{E_{0,2}}{\gamma_{w,fi}}$$

onde

$k_{mod,fi}$  é igual a 1,0 e inclui os efeitos da redução de resistência e rigidez da madeira;

$\gamma_{w,fi}$  é igual 1,0;

$$f_{0,2} = k_{fi} f_k$$

$$E_{0,2} = k_{fi} E_{0,05};$$

onde

$k_{fi}$  é obtido na Tabela 22;

**Tabela 22 – Valores de  $k_{fi}$**

Material	$k_{fi}$
Madeira serrada	1,25
Madeira lamelada colada	1,15
Madeira lamelada colada cruzada	1,15
Painéis à base de madeira	1,15
LVL	1,10

#### 11.2.4 Esforços resistentes de cálculo

Os valores dos esforços resistentes de cálculo em situação de incêndio,  $R_{fi,d}$ , devem ser calculados conforme a seguinte equação:

$$R_{fi,d} = K_{mod,fi} \frac{R_{0,2}}{\gamma_{w,fi}}$$

onde

$R_{0,2}$  deve ser calculado pelos critérios estabelecidos nesta Norma referentes ao dimensionamento em temperatura normal, desde que a área resistente seja adequadamente reduzida conforme 11.2.5 e as propriedades mecânicas substituídas por aquelas referentes ao quantil de 20 % (20 ° percentil), calculadas conforme 11.2.3.

#### 11.2.5 Seção transversal residual da madeira

A avaliação de resistência ao fogo de estruturas de madeira é baseada no conceito da diminuição de seção transversal devido à perda das propriedades mecânicas pela ação térmica. A seção transversal residual (ver Figura 28) deve ser determinada desprezando-se a espessura efetiva,  $e_{ef}$ , calculada conforme a equação a seguir:

$$e_{ef} = e_{carb,n} + k_0 e_0$$

onde

- $e_0$  é igual a 7 mm;
- $e_{carb,n}$  é a espessura carbonizada considerando o efeito do arredondamento;
- $k_0$  é dado na Tabela 22.

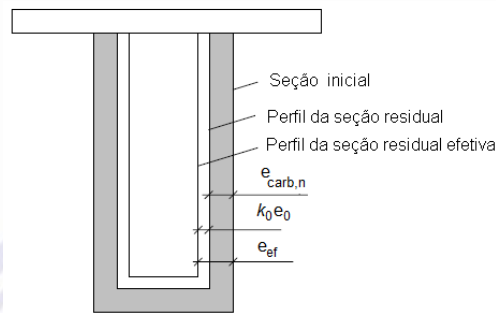


Figura 28 – Seção residual da madeira em situação de incêndio

Tabela 23 – Determinação de  $K_0$  para superfícies sem proteção, com  $t$  em minutos

Minutos	$K_0$
$t < 20$	$t / 20$
$t \geq 20$	1,0

O Valor  $carb,n$ , que inclui o efeito de arredondamento dos cantos e fissuras (ver Figura 29-a)), deve ser considerada constante e calculada da seguinte maneira:

$$e_{carb,n} = \beta_n t$$

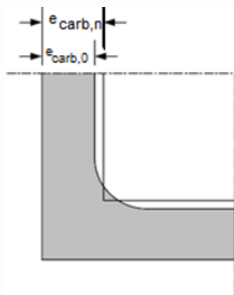
Em elementos planos,  $e_{carb,n}$  deve ser substituído por  $e_{carb,0}$  (ver Figura 29-b)) que é calculada pela seguinte equação:

$$e_{carb,0} = \beta_0 t$$

onde

$\beta_0$  e  $\beta_n$  são escolhidos conforme a Tabela 23.

Para elementos com revestimento superficial contra fogo, a seção residual deve ser determinada conforme EN 1995-1-2. Elementos não estruturais de madeira podem ser empregados como revestimento de sacrifício nas estruturas. A espessura desse revestimento deve ser igual a  $e_{carb,0}$ . Um arranjo da fixação desses revestimentos é representado na Figura 30.



a) Espessura de carbonização básica ( $e_{carb,0}$ ) e nominal ( $e_{carb,n}$ )



b) Carbonização unidimensional

Figura 29 – Tipos de carbonização

Tabela 24 – Taxas de carbonização para superfícies sem revestimento  $\beta_0$  e  $\beta_n$ 

Material	Tipo	$\beta_0$	$\beta_n$
Coníferas	MLC, MLCC ou madeira serrada	0,65	0,70
Folhosas <sup>a</sup>	Baixa densidade	0,65	0,70
	Média e alta densidades	0,50	0,55
LVL	$\rho_{aparente} \geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,70
Painéis <sup>b</sup>	Painéis de madeira Compensado e outros	0,9*	—
		1,0*	
		0,9*	

<sup>a</sup> Aplica-se tanto para madeira serrada como para MLC.

<sup>b</sup> Valores de  $\beta$  válidos para  $\rho = 450 \text{ kg/m}^3$  e  $h_p \geq 20 \text{ mm}$ . Para outras densidades e espessuras, o valor de  $\beta_0$  deve ser substituído por  $\beta_k$ , com  $\rho_k$  em  $\text{kg/m}^3$  e  $h_p$  em mm

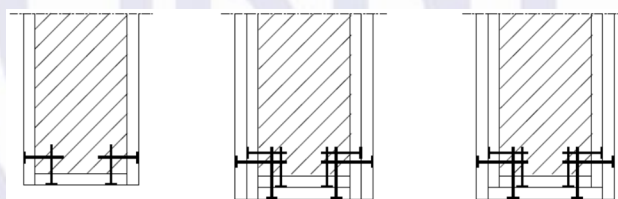


Figura 30 – Arranjo da fixação dos revestimentos de sacrifício

### 11.2.6 Seção transversal residual de painéis de MLCC

A metodologia para o cálculo da seção transversal residual apresentada em 11.2.5 deve ser utilizada para o dimensionamento de painéis de MLCC produzidos com adesivos estruturais resistentes ao fogo. Adesivos resistentes ao fogo são aqueles capazes de manter unidas as lamelas do MLCC durante período determinado de acordo com ensaios normatizados relativos ao tema. É responsabilidade do fabricante do adesivo apresentar esta informação no boletim técnico do adesivo.

Para placas de MLCC fabricadas com adesivos não resistentes ao fogo, deve ser considerada a possibilidade do deslocamento das lamelas de madeira a partir da adoção do modelo de taxa de carbonização bilinear.

Nesse modelo, a primeira lamela de madeira exposta ao fogo queima a uma taxa de carbonização constante, conforme os valores apresentados pela Tabela 23. Para as demais lamelas, deve ser considerado o dobro da taxa de carbonização para os primeiros 25 mm de espessura da madeira. Após a carbonização dos 25 mm iniciais da lamela, deve ser utilizado novamente o valor de taxa de carbonização tabelado, conforme ilustrado pela Figura 31.

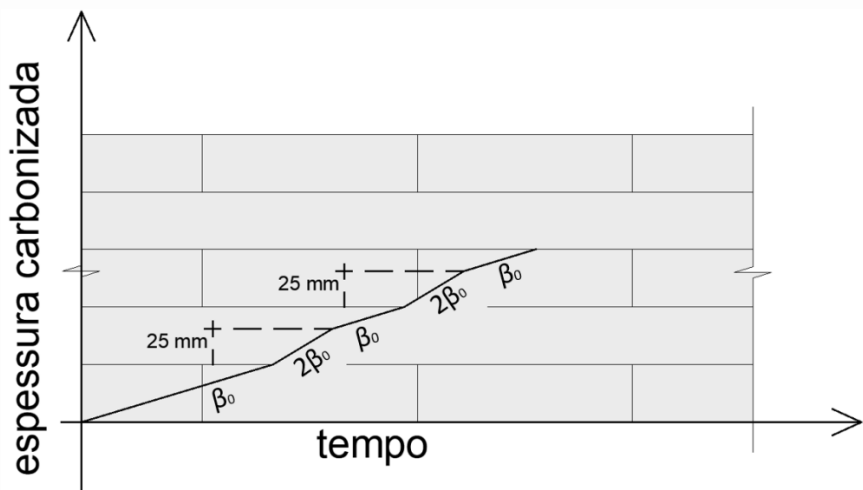


Figura 31 – Modelo de taxa de carbonização bilinear

NOTA A informação quanto às características dos produtos em relação à resistência ao fogo é feita pelos fabricantes de adesivos estruturais e de painéis de MLCC.

11.3 Ligações com conectores metálicos

Os elementos metálicos das ligações, quando expostos, devem receber revestimento contra fogo adequados ao tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF). Quando a proteção é adquirida por meio do embutimento dos conectores metálicos no interior do elemento estrutural, esses devem estar locados a uma profundidade calculada correspondente a seção residual efetiva ( $e_{ef}$ ), as aberturas para colocação dos conectores ou parafusos devem ser vedadas com madeira colada (ver Figura 32).

O esforço resistente de pinos metálicos, sem exposição direta ao fogo, deve ser calculado como em 11.2.3 substituindo-se  $k_{mod,fi}$  por  $\eta$ .

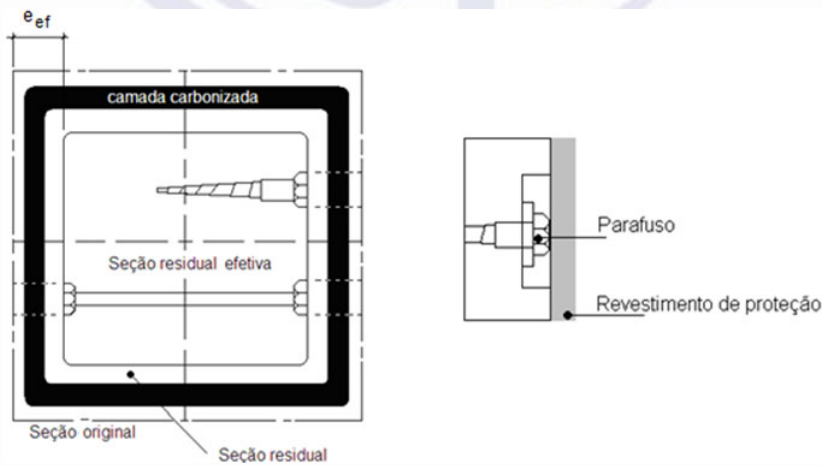
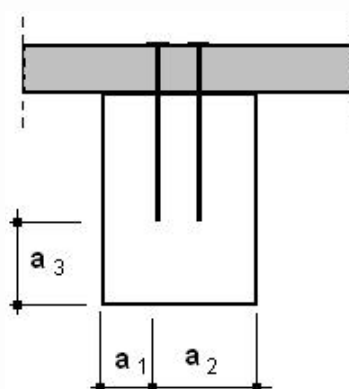


Figura 32 – Método para proteção de conectores



**Figura 33 – Seção e definição das distâncias**

Para parafusos metálicos cuja distância de fixação  $a_2$  seja maior ou igual a:  $a_1 + 40$  mm (Figura 33), o fator  $\eta$  deve ser determinado conforme a seguinte equação:

$$\eta = \begin{cases} 0 & \text{para } a_1 \leq 0,6 t \\ \frac{0,44a_1 - 0,264t}{0,2t + 5} & \text{para } 0,6 t \leq a_1 \leq 0,8 t + 5 \\ \frac{0,56a_1 - 0,36t + 7,32}{0,2t + 23} & \text{para } 0,8 t + 5 \leq a_1 \leq t + 28 \\ 1,0 & \text{para } a_1 \geq t + 28 \end{cases}$$

onde

$a_1$ ,  $a_2$  e  $a_3$  são as distâncias em milímetros, conforme Figura 33.

$t$  é o tempo requerido de resistência ao fogo em minutos.

Para parafusos metálicos cuja distância de fixação  $a_2$  seja igual a  $a_1$ , o fator  $\eta$  deve ser determinado da mesma forma supracitada, desde que  $t$  seja substituído por  $1,25 t$ . Em ambos os casos,  $a_3$  deve ser maior ou igual a  $a_1 + 20$  mm.

## 11.4 Dimensionamento de elementos com revestimento de proteção

**11.4.1** Devem ser adotados materiais, detalhes construtivos para fixação do revestimento e tratamento das juntas com comprovada resistência ao fogo.

**11.4.2** O tempo necessário para iniciar a carbonização ( $t_{carb}$ ) é o momento em que a estrutura de madeira inicia o processo de queima, que ocorre após o colapso dos revestimentos dos painéis.

**11.4.3** Para revestimentos de proteção ao fogo que consistem de uma ou mais camadas de painéis a base de madeira ou painéis de madeira, o tempo de início da carbonização,  $t_{carb}$ , do elemento protegido é calculado conforme a seguinte equação;

$$t_{carb} = \frac{h_p}{\beta_0}$$

onde

$h_p$  é a espessura da camada (e no caso de múltiplas camadas será a soma de todas as camadas);

$\beta_0$  é a taxa de carbonização unidirecional do material.

**11.4.4** Para revestimentos que consistem em uma camada de placa de gesso do tipo ST, RF ou RU de acordo com a ABNT NBR 14715-1, e localizações remotas das juntas de painel, ou adjacente a cavidades preenchidas ou não com largura de no máximo 2 mm,  $t_{carb}$  é calculado conforme a seguinte equação;

$$t_{carb} = 2,8 \cdot h_p - 14$$

**11.4.5** Em locais adjacentes à junta com cavidades sem preenchimentos e com largura de no mínimo 2 mm,  $t_{carb}$  é calculado conforme a seguinte equação;

$$t_{carb} = 2,8 \cdot h_p - 23$$

**11.4.6** Para revestimentos que consistem em duas camadas de placa de gesso do tipo ST e RU, o tempo de início de carbonização deve ser determinado de acordo com 11.4.3, onde a espessura  $h_p$  é considerada como a espessura da camada externa e 50 % da espessura da camada interna. A distância dos parafusos na camada interna não pode ser maior do que o espaço dos parafusos da camada externa.

**11.4.7** Para revestimentos que consistem de duas camadas de placa de gesso do tipo F, o tempo de início de carbonização deve ser determinado de acordo com 12.4-b), onde a espessura  $h_p$  é considerada como a soma da espessura da camada externa e 80% da espessura da camada interna. A distância dos parafusos na camada interna não pode ser maior do que o espaço dos parafusos da camada externa.

## 12 Durabilidade da madeira

### 12.1 Generalidades

A madeira é um material orgânico e deve receber análise prévia das condições em que é aplicada, para identificar a necessidade de tratamento preservativo específico, buscando obter durabilidade e resistência aos agentes biodeterioradores da madeira, como fungos e insetos xilófagos e perfuradores marinhos.

### 12.2 Preservação da madeira - Sistema de categorias de uso

A preservação de madeiras é o conjunto de medidas preventivas e curativas adotadas para controle de agentes biológicos (fungos e insetos xilófagos e perfuradores marinhos), físicos e químicos que afetam as propriedades da madeira, adotadas no desenvolvimento e na manutenção dos componentes de madeira no ambiente construído. O Projeto de estruturas de madeira deve ser elaborado considerando os riscos de degradação da madeira e, buscando minimizá-los, deve-se aplicar a ABNT NBR 16143, cujos princípios estão apresentados a seguir.

O propósito do Sistema de Categorias de Uso é oferecer uma ferramenta simplificada para a tomada de decisão quanto ao uso racional e inteligente da madeira, por meio de uma abordagem sistêmica ao produtor e usuário, que assegure maior durabilidade das construções.

O sistema consiste no estabelecimento de seis categorias de uso baseadas nas condições de exposição ou uso da madeira, na expectativa de desempenho do componente e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes (ver Tabela 24).

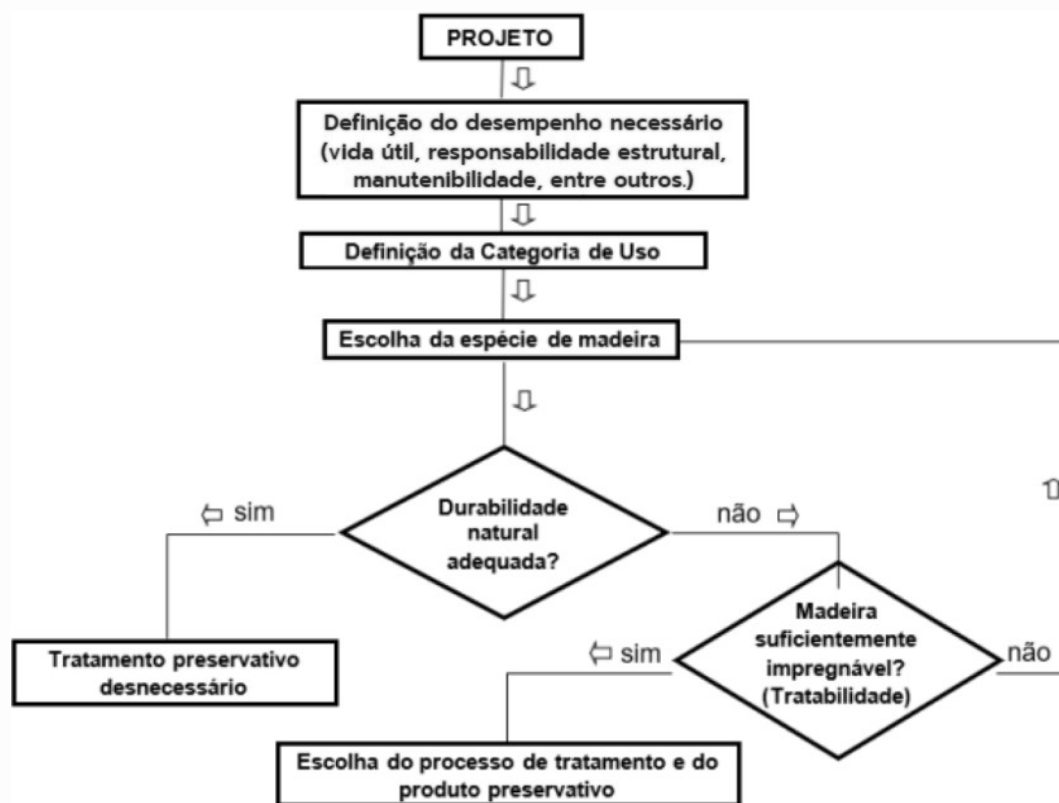


Tabela 25 – Categorias de uso da madeira

<b>Categoria de uso</b>	<b>Condição de uso da madeira</b>	<b>Organismo xilófago</b>
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade e locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	Cupim-de-madeira-seca Broca-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	Cupim-de-madeira-seca Broca-de-madeira Cupim-subterrâneo Cupim-arborícola
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade.	Cupim-de-madeira-seca Broca-de-madeira Cupim-subterrâneo
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos as intempéries.	Cupim-arborícola Fungo embolorador/manchador
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e alvenaria.	Fungo apodrecedor
6	Exposição à água salgada ou salobra.	Perfurador marinho Fungo embolorador/manchador Fungo apodrecedor

### 12.3 Aplicação do sistema de categorias de uso

O sistema de categorias de uso define medidas que devem ser adotadas durante a fase de elaboração de projeto de uma construção com componentes de madeira, auxiliando na escolha do tratamento preservativo da madeira - produto e processo. Este processo de decisão é representado pelo fluxograma na Figura 34.



**Figura 34 – Fluxograma de preservação**

Desta forma, ao se utilizar a madeira como material de engenharia, as seguintes etapas devem ser realizadas:

- definição do nível de desempenho necessário para o componente ou estrutura de madeira, como: vida útil, responsabilidade estrutural e garantias comerciais e legais;
- avaliação dos riscos biológicos aos quais as madeiras são submetidas durante a sua vida útil – ataque de fungos e insetos xilófagos e/ou perfuradores marinhos;
- definição da espécie de madeira adequada ao uso e da necessidade do tratamento preservativo considerando: durabilidade natural da espécie, tratabilidade, processo de tratamento e produtos preservativos disponíveis. O tratamento preservativo faz-se necessário se a espécie escolhida não for naturalmente durável para a categoria de uso considerada e/ou se a madeira contém alburno, porção naturalmente suscetível ao ataque de organismos xilófagos;
- escolha do processo de tratamento da madeira e do produto preservativo adequados.

## Bibliografia

- [1] ISO 9074, *Information processing systems – Open Systems Interconnection – Estelle: A formal description technique based on an extended state transition model*

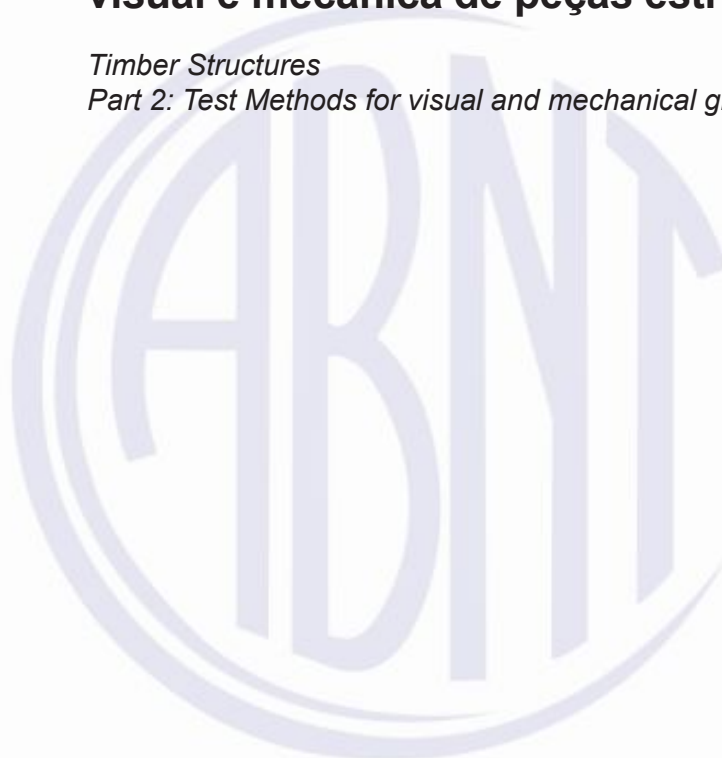


---

**Projeto de estruturas de madeira**  
**Parte 2: Métodos de ensaio para classificação**  
**visual e mecânica de peças estruturais de madeira**

*Timber Structures*

*Part 2: Test Methods for visual and mechanical grading of structural lumber*



ICS 91.080.20

ISBN 978-85-07-09145-5



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 7190-2:2022  
15 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

## Sumário

Página

Prefácio .....	v
1 Escopo .....	1
2 Referência normativa .....	1
3 Termos e definições .....	1
4 Símbolos .....	3
4.1 Letras romanas maiúsculas .....	3
4.2 Letras romanas minúsculas .....	3
4.3 Letra grega .....	4
5 Requisitos .....	4
5.1 Aspectos gerais .....	4
5.2 Classificação visual .....	4
5.3 Classificação mecânica .....	5
5.4 Classes de resistência .....	6
6 Classificação visual – Defeitos de medição .....	6
6.1 Nós .....	6
6.2 Inclinação das fibras .....	7
6.3 Fissuras .....	8
6.4 Encurvamento .....	8
6.5 Encanoamento .....	9
6.6 Arqueamento .....	9
6.7 Torcimento .....	9
6.8 Esmoado .....	10
7 Classificação mecânica .....	10
Anexo A (normativo) Classes visuais, mecânicas e de resistência para grupamentos comerciais de madeiras serradas de florestas plantadas .....	12
A.1 Classes para <i>Pinus spp</i> .....	12
A.2 Clone híbrido interespecífico de <i>E. urophylla</i> e <i>E. grandis</i> (urograndis) .....	13
Bibliografia .....	15

## Figuras

Figura 1 – Medição de um nó na face .....	6
Figura 2 – Conjunto de nós .....	7
Figura 3 – Nós individuais próximos, com ocorrência de dois destes na mesma seção transversal .....	7
Figura 4 – Medição da inclinação das fibras da madeira na face de uma peça .....	7
Figura 5 – Medição do comprimento de fissuras .....	8
Figura 6 – Medição do encurvamento .....	8
Figura 7 – Medição do encanoamento .....	9
Figura 8 – Medição do arqueamento .....	9
Figura 9 – Medição do torcimento .....	9
Figura 10 – Medição do comprimento do esmoado .....	10



Figura 11 – Ensaio à flexão.....10

Tabela A.1 – Classificações visual das classes para *Pinus spp*.....12

Tabelas

Tabela 1 – Redução máxima da dimensão da face com o aplainamento.....4

Tabela A.2 – Classificações mecânica das classes para *Pinus spp* .....13

Tabela A.3 – Propriedades das classes para *Pinus spp*.....13

Tabela A.4 – Classificações visual das classes para *E. urophylla* e *E. grandis* (urograndis) ...13

Tabela A.5 – Classificações mecânica das classes para *E. urophylla* e *E. grandis* (urograndis) ...14

Tabela A.6 – Propriedades das classes para *E. urophylla* e *E. grandis* (urograndis).....14



## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 7190-2 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (CE-002:126.010). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 12, de 21.12.2021 a 20.02.2022.

Esta Norma circulou na Consulta Nacional com a numeração ABNT NBR 17020. Por consenso, a CE-002.126.010 decidiu pela manutenção da numeração original para facilitar a associação ao número, e o documento foi publicado como ABNT NBR 7190-2.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 7190-2 é o seguinte:

## Scope

*This Standard establishes the criteria for visual and mechanical grading of lumber pieces of coniferous and hardwood from planted forests for structural use.*

*It aims to assign a strength class to each of the pieces that make up the batch of wood to be used classification by piece.*

*This Standard applies to wood pieces whose maximum dimensions of the cross section do not exceed the limits of 60 mm for the smallest dimension and 300 mm for the largest dimension.*



## Projeto de estruturas de madeira

### Parte 2: Métodos de ensaio para classificação visual e mecânica de peças estruturais de madeira

#### 1 Escopo

Esta Norma estabelece os critérios para a classificação visual e mecânica de peças de madeira serrada de coníferas e folhosas de florestas plantadas, destinadas a uso estrutural.

Esta Norma atribui uma classe de resistência a cada uma das peças que compõem o lote de madeira a ser utilizada.

Esta Norma se aplica a peças de madeira cujas dimensões máximas da seção transversal não ultrapassem os limites de 60 mm para a menor dimensão e 300 mm para a maior dimensão.

#### 2 Referência normativa

O documento a seguir é citado no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 12551, *Madeira serrada – Terminologia*

#### 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

##### 3.1

##### **aplainamento**

operação que proporciona uma superfície lisa às faces e/ou bordas de uma peça de madeira, ao longo de todo seu comprimento

##### 3.2

##### **borda**

cada uma das duas menores superfícies longitudinais de uma peça de madeira conforme a ABNT NBR 12551

##### 3.3

##### **empenamento**

deformação na forma geométrica inicial da peça de madeira, devida ao desdobro, secagem ou armazenamento

##### 3.4

##### **esmoado**

ausência de madeira, originada por qualquer motivo, na quina de uma peça de madeira serrada; quina morta

### 3.5

#### **face**

cada uma das duas maiores superfícies longitudinais de uma peça de madeira ou cada uma das quatro superfícies longitudinais, caso suas áreas sejam iguais ou aproximadamente iguais

### 3.6

#### **fendilhado**

pequena fissura superficial, longitudinal paralela à grã que surge durante a secagem da madeira, fissura superficial

### 3.7

#### **fissura**

qualquer separação ou descontinuidade da madeira, motivada por contração diferencial, tensões internas de secagem ou tensões de crescimento

### 3.8

#### **fissura não passante**

fissura longitudinal, paralela à grã, com desenvolvimento radial através dos anéis de crescimento ao longo da seção transversal, com extensão menor que a largura da peça

### 3.9

#### **fissura passante**

fendilhado de topo

fissura longitudinal, paralela à grã, com desenvolvimento radial através dos anéis de crescimento ao longo da seção transversal, estendendo-se de uma face à outra da peça

### 3.10

#### **lenho**

madeira

tecido de sustentação da árvore e de água e fotossintatos

### 3.11

#### **madeira de reação**

madeira formada em condições particulares de crescimento da árvore, em reação a forças que atuam no tronco, como ventos fortes, copa e galhos assimétricos, normalmente caracterizada pela presença de medula excêntrica no fuste da árvore

### 3.12

#### **medula**

região central do tronco da árvore, constituída de tecidos menos resistentes que o restante do lenho (ver Figura A.1)

### 3.13

#### **nó**

parte de um galho ou ramo inserido no lenho durante o crescimento da árvore, constituído por um tecido lenhoso, cujos caracteres diferem daqueles da madeira que o circunda

### 3.14

#### **nó cariado**

nó que se encontra parcialmente deteriorado por agente biológico ou mecânico

**3.15****nó de gravata**

conjunto de dois nós de formas alongadas e que convergem para o mesmo ponto na face da peça

**3.16****nó de quina**

nó que aparece na borda e na face de uma peça que contém a intersecção destas superfícies longitudinais

**3.17****nó firme**

nó que se mantém firmemente retido à madeira seca e não mostra nenhuma indicação de deterioração

**3.18****nó solto**

nó que, normalmente, não se mantém retido à madeira durante ou após a secagem

**3.19****nó vazado**

orifício na peça de madeira provocado pela falta do nó; orifício remanescente de um nó suprimido

**3.20****racha**

racha anelar

fissura com ocorrência predominante entre os anéis do crescimento

**3.21****sistemas redundantes**

são sistemas que permitem caminhos de carga alternativos e redistribuição de esforços após uma falha localizada

**3.22****topo**

superfície plana correspondente à seção transversal de uma peça de madeira conforme a ABNT NBR 12551

**4 Símbolos****4.1 Letras romanas maiúsculas**

*A* área

*L* comprimento ou vão

*D* diâmetro do nó

*D1* e *D2* diâmetros de nós concorrentes em uma mesma seção transversal

*U* Umidade da madeira

**4.2 Letras romanas minúsculas**

*b* espessura da seção transversal da peça

*h* largura da seção transversal da peça



4.3 Letra grega

$\rho$  densidade da madeira

5 Requisitos

5.1 Aspectos gerais

A atribuição de uma classe de resistência a cada uma das peças que compõem o lote de madeira a ser empregado é realizada a partir da classificação visual e mecânica das peças e da mensuração da densidade da madeira.

A classificação visual é conduzida com a inspeção visual das duas faces e das duas bordas de cada peça. É realizada por pessoa qualificada e treinada ou por equipamentos, que qualificam e quantificam os defeitos presentes em todo o comprimento da peça. Com base nos defeitos presentes e sua severidade, é atribuída uma classe visual para cada peça.

A classificação mecânica é conduzida com a avaliação do módulo de elasticidade ( $E_0$ ) e densidade da madeira de cada peça. O módulo de elasticidade deve ser obtido por meio de ensaio estático de flexão ou ensaio dinâmico de comprovada acurácia e precisão, realizado com a peça em seu comprimento e seção transversal integrais. Com base nos valores de  $E_0$  e de densidade da madeira, é atribuída uma classe mecânica para cada peça.

A classe de resistência de cada uma das peças que compõem o lote de madeira é considerada a menor das duas classes – visual e mecânica – atribuídas. Para efeitos de projeto estrutural, a cada classe de resistência são associados valores referenciais de densidade aparente e módulo de elasticidade, além de resistências características à flexão ( $f_{m,k}$ ), à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}$ ) e ao cisalhamento ( $f_{v,k}$ ).

5.2 Classificação visual

A classificação visual é realizada a partir da inspeção visual das duas faces e das duas bordas de cada peça com relação à presença de defeitos, desconsiderando-se aqueles com ocorrência exclusiva nos topos.

Se a classificação visual for realizada antes do aplainamento das peças de madeira, para propósitos de classificação visual, devem ser consideradas as dimensões da peça após o aplainamento. As reduções máximas na dimensão da face de peças aplainadas são as apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Redução máxima da dimensão da face com o aplainamento

Dimensão da face	Até 49 mm	De 50 mm até 150 mm	Acima de 150 mm
Redução máxima	4 mm	5 mm	6 mm

Se a madeira já classificada for posteriormente cortada em partes menores, estas partes devem ser objeto de nova classificação visual.

Para os efeitos desta Norma, os defeitos que são considerados na classificação visual de peças de madeira serrada são: presença de medula, nós, inclinação excessiva das fibras, fissuras passantes e não passantes, distorções dimensionais (encurvamento, arqueamento, encanoamento, torcimento, esmoado), ataques biológicos, danos mecânicos ou bolsas de resina.

Em função dos defeitos presentes e de suas severidades, avaliados de acordo com o especificado na Seção 6, atribui-se uma classe visual à peça serrada de madeira de florestas plantadas: Classe 1, Classe 2 ou Classe 3.

As Tabelas A.1 a A.6 apresentam os requisitos para cada uma das classes visuais de alguns grupamentos de madeiras comerciais.

### 5.3 Classificação mecânica

A classificação mecânica é realizada a partir da avaliação do módulo de elasticidade ( $E_0$ ) e densidade aparente da madeira de cada peça.

O módulo de elasticidade deve ser obtido por meio de ensaio não destrutivo de flexão, realizado com a peça em seu comprimento e seção transversal integrais.

O ensaio de flexão estática deve ser realizado com a madeira na condição referencial de umidade de 12 %. Para ensaios realizados com a madeira em outras condições de umidade, compreendidas no intervalo entre 10 % e 20 %, admite-se a aplicação de variação de 2 % no valor da propriedade para cada 1 ponto percentual de variação da umidade.

Almejando a automação na classificação mecânica recomenda-se a obtenção do módulo de elasticidade por métodos não destrutivos vibracionais ou de propagação de ondas. O tipo e detalhamento do método vibracional ou de propagação de ondas utilizado deve ser reportado em relatório, com descrição da precisão obtida em ensaios de calibração, por meio do coeficiente de determinação de regressão entre o módulo de elasticidade do método vibracional ou de propagação de ondas ( $E_{din}$ ) e o módulo de elasticidade referencial, obtido conforme Seção 7, devendo este ser superior a 0,8. Para efeitos de classificação mecânica, é utilizado o módulo de elasticidade referencial, obtido a partir do modelo de regressão

A densidade aparente da madeira é avaliada para cada peça, contabilizando-se seu comprimento total e sua seção transversal após aplainamento, na condição referencial de umidade de 12 %. É obtida pela razão entre a massa e o volume nesse teor de umidade. Para ensaios realizados com a madeira em outras condições de umidade, compreendidas no intervalo entre 10 % e 20 %, admite-se o uso de expressão teórica de correção do valor da densidade na umidade inicial de ensaio ( $\rho_{test}$ ) para a condição referencial de umidade ( $\rho_{12}$ ) na seguinte conformidade:

$$\rho_{12} = \rho_{test} (1 - 0,5(U - 0,12))$$

onde

$\rho_{12}$  é a densidade da madeira a 12 % de umidade;

$\rho_{test}$  é a densidade da madeira na umidade inicial de ensaio;

$U$  é a umidade na condição inicial de ensaio, expressa na forma decimal, avaliada com amostra da peça, pelo método da secagem completa em estufa até constância de massa.

Alternativamente, é permitido o uso de medidor portátil de umidade, baseado na medição de resistência elétrica, desde que esteja calibrado ao método referencial da secagem completa em estufa até constância de massa.

Em função dos valores do módulo de elasticidade  $E_0$  e da densidade aparente da madeira da peça, atribui-se uma classe mecânica à peça serrada de madeira de florestas plantadas: Classe 1, Classe 2 ou Classe 3.

As Tabelas A.1 a A.6 apresentam os requisitos para cada uma das classes mecânicas de alguns grupamentos de madeiras comerciais.

## 5.4 Classes de resistência

A classe de resistência de cada uma das peças que compõem o lote de madeira é considerada a menor das duas classes – visual e mecânica – atribuídas.

Para os efeitos de projeto estrutural, a cada classe de resistência – Classe 1, Classe 2 e Classe 3 – são associados valores referenciais de densidade aparente e módulo de elasticidade, além de resistências características à flexão ( $f_{m,k}$ ), à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,k}$ ) e ao cisalhamento ( $f_{v,k}$ ).

As Tabelas A.1 a A.6 apresentam as classes de resistência de alguns grupamentos de madeiras comerciais.

## 6 Classificação visual – Defeitos de medição

### 6.1 Nós

Para os efeitos desta Norma são avaliados apenas os nós firmes. A ocorrência de nós cariados, soltos ou vazados em uma peça é motivo de seu descarte para uso estrutural.

Os nós são avaliados exclusivamente nas duas faces e nas duas bordas da peça, excluindo-se o topo. É mensurado somente o nó mais crítico, aquele cujo diâmetro ( $D$ ), avaliado na direção perpendicular ao eixo principal da peça ocupa a maior porcentagem da largura ( $h$ ) da face da peça (ver Figura 1) ou a maior porcentagem da espessura da borda.

A ocorrência do nó é expressa em termos da relação entre o seu diâmetro ( $D$ ) e a dimensão da face ou borda considerada e expressa em  $\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1}$ .

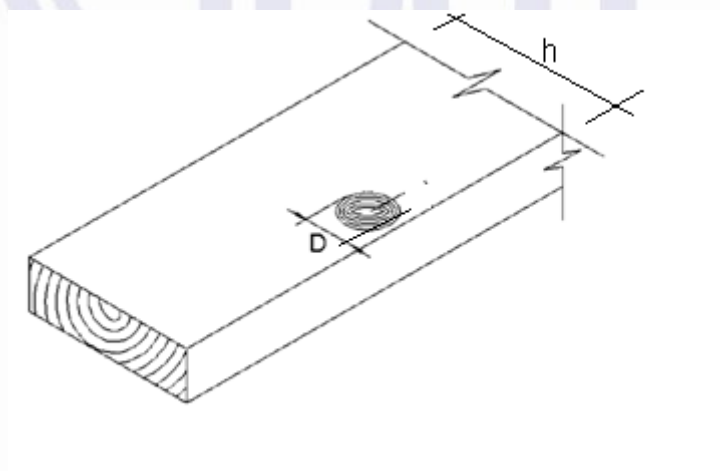
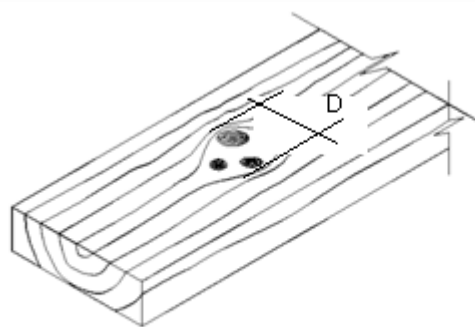


Figura 1 – Medição de um nó na face

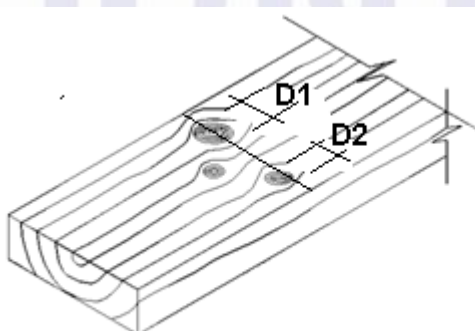
Um conjunto de nós é medido como um nó individual. Adota-se como o diâmetro de um conjunto de nós aquele definido por limites mais extremos do conjunto (ver Figura 2).



**Figura 2 – Conjunto de nós**

Dois ou mais nós próximos, mas com fibras inclinadas em torno de cada nó, devem ser considerados isoladamente.

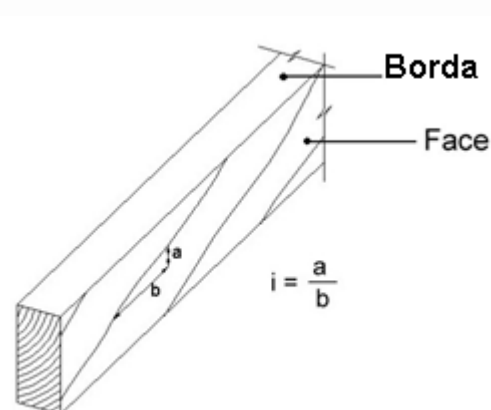
Quando a ocorrência de nós próximos se der em uma mesma seção transversal, o diâmetro é obtido pela soma dos diâmetros individuais ( $D = D1 + D2$ ) (ver Figura 3).



**Figura 3 – Nós individuais próximos, com ocorrência de dois destes na mesma seção transversal**

## 6.2 Inclinação das fibras

A inclinação das fibras ( $i$ ) é avaliada ao longo das faces da peça, na zona que apresentar a maior inclinação, desconsiderando-se os desvios em torno dos nós. É expressa em termos de proporção (1:3; 1:6, ... ; 1:12) com base na relação apresentada na Figura 4.



**Figura 4 – Medição da inclinação das fibras da madeira na face de uma peça**

### 6.3 Fissuras

As fissuras compreendem aquelas passantes e não passantes, os fendilhados e as rachas .

Seus comprimentos ( $L$ ) são mensurados paralelamente ao comprimento da peça (ver Figura 5). Suas larguras são mensuradas ao longo da seção transversal da peça.

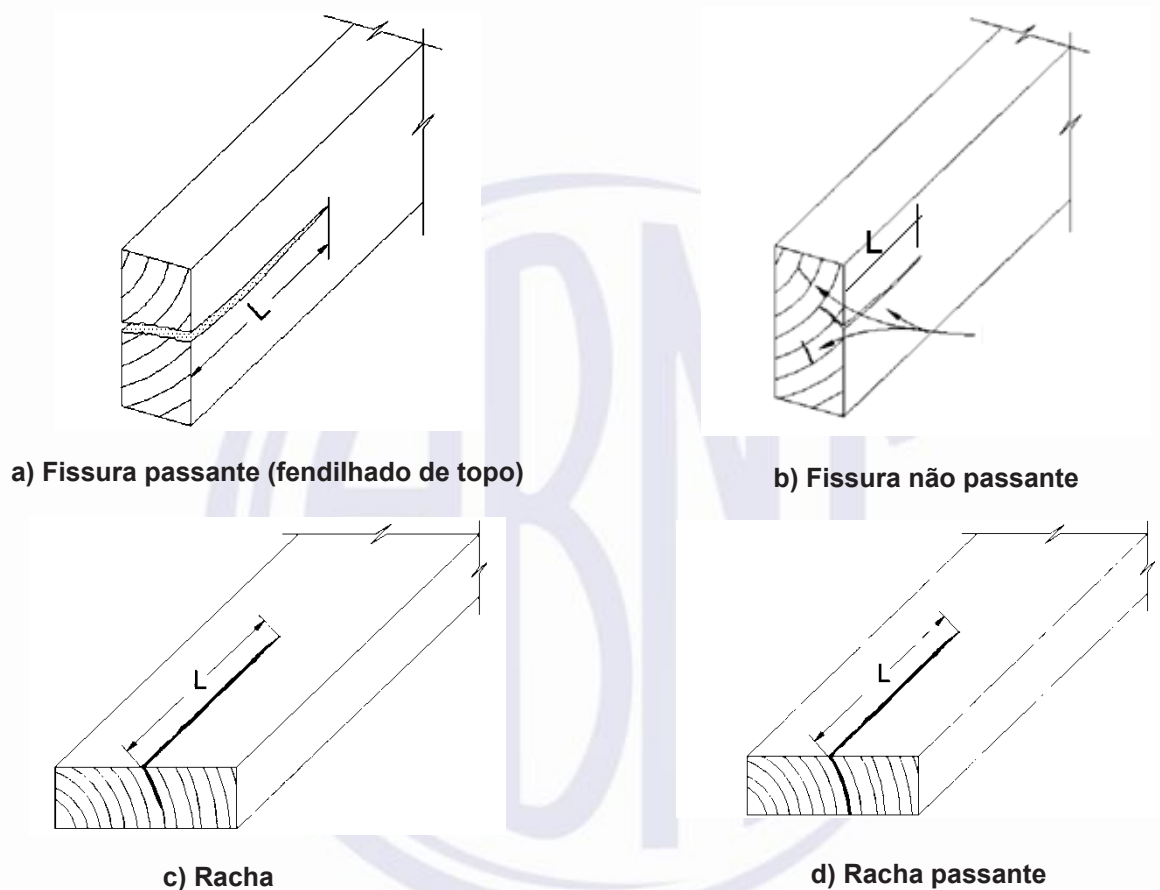


Figura 5 – Medição do comprimento de fissuras

### 6.4 Encurvamento

É um empenamento da peça em relação ao seu eixo de menor inércia (ver Figura 6). Deve ser medido no ponto de maior deslocamento em relação à linha reta que une as duas extremidades da peça.

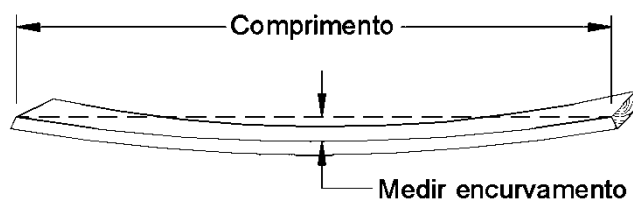
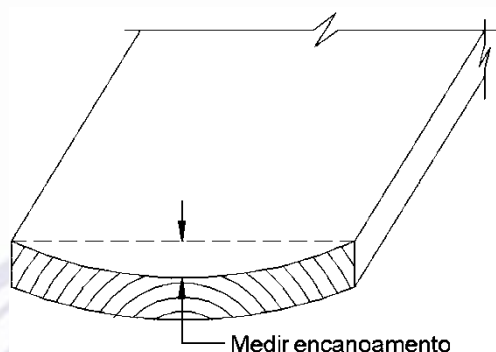


Figura 6 – Medição do encurvamento

## 6.5 Encanoamento

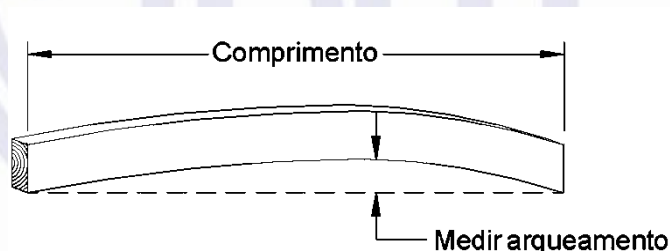
É um empenamento da peça de madeira, configurando uma face côncava e outra convexa (ver Figura 7). Deve ser medido no ponto de maior deslocamento em relação à linha reta que une as duas bordas da peça.



**Figura 7 – Medição do encanoamento**

## 6.6 Arqueamento

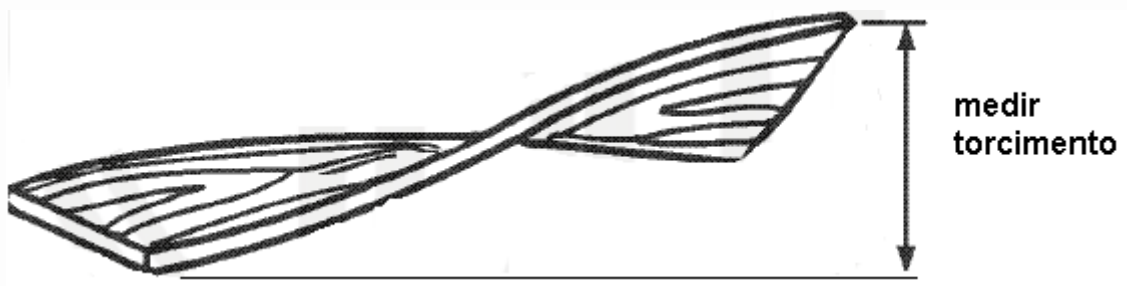
É um empenamento em relação ao eixo de maior inércia de uma peça de madeira (ver Figura 8). Deve ser medido no ponto de maior deslocamento em relação à linha reta que une as duas extremidades da peça.



**Figura 8 – Medição do arqueamento**

## 6.7 Torcimento

É uma combinação de empenamentos em relação aos eixos de maior e de menor inércia fazendo com que a peça de madeira fique com forma espiralada (ver Figura 9).



**Figura 9 – Medição do torcimento**



## 6.8 Esmoadado

É a ausência de madeira, causada por qualquer motivo, na quina de uma peça de madeira serrada. Seu comprimento ( $L$ ) é mensurado paralelamente ao comprimento da peça (ver Figura 10). Suas dimensões transversais são mensuradas ao longo da espessura e largura da seção transversal.

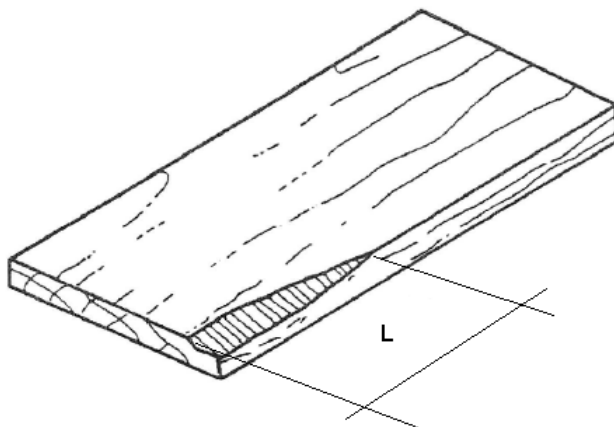


Figura 10 – Medição do comprimento do esmoado

## 7 Classificação mecânica

Para fins de classificação mecânica, o ensaio referencial para avaliação do módulo de elasticidade ( $E_0$ ) de cada peça que compõe o lote de madeira a ser empregada é o de flexão estática a 3 pontos – força concentrada no meio do vão livre – com mensuração da flecha no meio do vão.

A peça deve ser ensaiada com seu comprimento e seção transversal integrais, na posição de menor inércia (deitada), mantendo-se um vão livre de 18 vezes a espessura nominal da seção transversal ( $b$ ). Sempre que justificável, por representar uma condição mais desfavorável de desempenho estrutural, o posicionamento da peça no dispositivo de ensaio pode resultar em balanços laterais assimétricos. A borda tracionada da peça deve ser escolhida aleatoriamente (ver Figura 11).

O carregamento deve ser monotônico crescente, de forma a propiciar acréscimos de tensão nas bordas da peça de  $10 \text{ MPa} \cdot \text{min}^{-1}$ . O deslocamento deve ser avaliado no centro do vão livre, com medidores de deslocamento com exatidão de  $0,01 \text{ mm}$ .

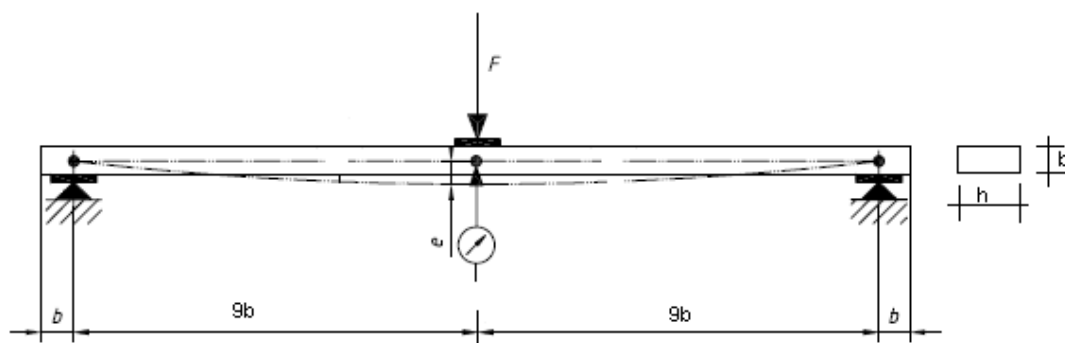


Figura 11 – Ensaio à flexão

O módulo de elasticidade à flexão ( $E_0$ ) é determinado no regime elástico-linear do diagrama força × deslocamento (normalmente localizado no intervalo de 10 % a 40 % da força máxima) pela seguinte equação:

$$E_0 = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{L}{b}\right)^3 \cdot \left(\frac{\Delta F}{\Delta e}\right) \cdot \frac{1}{h}$$

onde

$E_0$  é o módulo de elasticidade à flexão estática, expresso em megapascals (Mpa);

$b$  é a espessura nominal da peça, expressa em milímetros (mm);

$h$  é a largura nominal da peça, expressa em milímetros (mm);

$L$  é o vão de ensaio da peça, expresso em milímetros (mm);

$\Delta F$  é o incremento de carga, expresso em Newtons (N);

$\Delta e$  é o incremento de deslocamento, expresso em milímetros (mm).

## Anexo A (normativo)

### Classes visuais, mecânicas e de resistência para grupamentos comerciais de madeiras serradas de florestas plantadas

#### A.1 Classes para *Pinus spp*

Nas Tabelas A.1 a A.3, os requisitos para as classificações visual e mecânica e propriedades das classes de resistência são apresentados.

**Tabela A.1 – Classificações visual das classes para *Pinus spp***

Defeito	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Medula	Não se admite		
Nós na face	$\leq 1/4$	$\leq 1/3$	$\leq 1/2$
Nós na borda	$\leq 1/5$	$\leq 1/4$	$\leq 1/3$
Inclinação das fibras (mm/mm)	$\leq 1:9$	$\leq 1:6$	$\leq 1:3$
Fissuras não passantes (m)	O comprimento das fissuras não pode ser maior que 1,0 m e nem $\frac{1}{4}$ do comprimento da peça		
Fissuras passantes (m)	Somente são permitidas as fissuras passantes nos extremos e o comprimento não pode ser maior do que a largura da peça		
Encurvamento (mm)	Menor que 8 mm para cada 3 m de comprimento		
Arqueamento (mm)	Menor que 3 mm para cada 2 m de comprimento		
Torcimento (mm/m)	Menor que 5 mm para cada 1 m de comprimento		
Encanoamento (mm)	Sem restrições		
Esmoadado (mm/mm)	Transversalmente menor que $\frac{1}{4}$ da espessura ou largura da peça Sem restrições para o comprimento		
Ataques biológicos	Não se admitem zonas atacadas por fungos causadores de podridão Admitem-se zonas atacadas por fungos cromógenos Admitem-se orifícios causados por insetos com diâmetro inferior a 2 mm		
Outros	Danos mecânicos, presença de bolsa de resina e outros defeitos se limitam por analogia com alguma característica similar		

A presença de medula é permitida desde que a utilização seja em sistema ou elemento com redundância estrutural (placas protendidas, pregadas e cavilhadas, painéis *woodframe*, MLC, MLCC, dentre outros) e que seja comprovada qualidade do tratamento preservante na peça com medula de acordo a ABNT NBR 16143.

**Tabela A.2 – Classificações mecânica das classes para *Pinus spp***

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	≥ 500	≥ 400	≥ 350
E <sub>0</sub> (MPa)	≥ 11 000	≥ 8 000	≥ 5 000

**Tabela A.3 – Propriedades das classes para *Pinus spp***

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade $\rho_{12}$ (kg/m <sup>3</sup> )	500	400	350
Módulo de elasticidade médio E <sub>med</sub> (MPa)	11 000	8 000	5 000
Resistência característica à flexão f <sub>m,k</sub> (MPa)	35	27	14
Resistência característica à compressão paralela f <sub>c0,k</sub> (MPa)	22	18	14
Resistência característica ao cisalhamento f <sub>v,k</sub> (MPa)	6	3,5	2,5
NOTA Adotar a menor das classes atribuída nas classificações visual e mecânica.			

## A.2 Clone híbrido interespecífico de *E. urophylla* e *E. grandis* (urograndis)

As Tabelas A.4 a A.6 apresentam os requisitos para as classificações visual e mecânica e propriedades das classes de resistência.

**Tabela A.4 – Classificações visual das classes para *E. urophylla* e *E. grandis* (urograndis) (continua)**

Defeito	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Medula	Não se admite		
Nós na face	≤ 1/5	≤ 1/3	≤ 1/2
Nós na borda	≤ 1/5	≤ 1/3	≤ 1/2
Inclinação das fibras (mm/mm)	1:12	1:9	1:6
Fissuras não passantes (m)	O comprimento das fissuras não pode ser maior que 1,0 m e nem ¼ do comprimento da peça		
Fissuras passantes (m)	Somente se permitem as fissuras passantes nos extremos e o comprimento não pode ser maior do que a largura da peça		
Encurvamento (mm)	Menor que 8 mm para cada 3 m de comprimento		
Arqueamento	Menor que 3 mm para cada 2 m de comprimento		
Torcimento (mm/m)	Menor que 5 mm para cada 1 m de comprimento		
Encanoamento (mm)	Sem restrições		
Esmoado (mm/mm)	Transversalmente menor que ¼ da espessura ou largura da peça Sem restrições para o comprimento		

**Tabela A.4** (conclusão)

Defeito	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Ataques biológicos	Não se admitem zonas atacadas por fungos causadores de podridão Admitem-se zonas atacadas por fungos cromógenos Admitem-se orifícios causados por insetos com diâmetro inferior a 2 mm		
Outros	Danos mecânicos, presença de bolsa de resina e outros defeitos se limitam por analogia com alguma característica similar		

**Tabela A.5 – Classificações mecânica das classes para *E. urophylla* e *E. grandis* (urograndis)**

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	≥ 700	≥ 600	≥ 500
E <sub>0</sub> (MPa)	≥ 14 000	≥ 13 000	≥ 11 000

**Tabela A.6 – Propriedades das classes para *E. urophylla* e *E. grandis* (urograndis)**

Propriedade	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Densidade $\rho_{12}$ (kg/m <sup>3</sup> )	700	600	500
Módulo de elasticidade médio E <sub>med</sub> (MPa)	14 000	13 000	11 000
Resistência característica à flexão f <sub>m,k</sub> (MPa)	50	40	30
Resistência característica à compressão paralela f <sub>c0,k</sub>	35	30	25
Resistência característica ao cisalhamento f <sub>v,k</sub> (MPa)	4	4	4
NOTA Adotar a menor das classes atribuída nas classificações visual e mecânica.			

## Bibliografia

- [1] ABNT NBR 7190-1, *Projeto de estruturas de madeira – Parte 1: Critérios de dimensionamento*
- [2] ABNT NBR 16143, *Preservação de madeiras – Sistema de categorias de uso*





---

**Projeto de estruturas de madeira**  
**Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova**  
**isentos de defeitos para madeiras de florestas**  
**nativas**

*Timber Structures*

*Part 3: Test Methods for characterization of defect-free specimens for timber  
of native forests*

ICS 91.080.20

ISBN 978-85-07-09146-2



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 7190-3:2022  
36 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

## Sumário

Página

Prefácio .....	vi
1 Escopo .....	1
2 Referência normativa .....	1
3 Símbolos .....	1
4 Caracterização da resistência da madeira serrada .....	3
4.1 Caracterização completa da madeira serrada .....	3
4.2 Caracterização mínima da resistência de espécies de madeira pouco conhecidas ...	3
4.3 Caracterização simplificada da resistência da madeira serrada .....	4
4.4 Caracterização da rigidez da madeira .....	4
4.5 Região de retirada dos corpos de prova .....	4
4.6 Valores característicos .....	5
4.7 Relatório .....	5
5 Métodos de ensaio .....	6
5.1 Umidade .....	6
5.1.1 Princípio .....	6
5.1.2 Condições gerais .....	6
5.1.3 Preparação dos corpos de prova .....	6
5.1.4 Procedimento .....	7
5.2 Densidade .....	7
5.2.1 Princípio .....	7
5.2.2 Condições gerais .....	7
5.2.3 Preparação dos corpos de prova .....	7
5.2.4 Procedimento .....	7
5.3 Estabilidade dimensional da madeira .....	8
5.3.1 Princípio .....	8
5.3.2 Condições gerais .....	8
5.3.3 Preparação dos corpos de prova .....	8
5.3.4 Procedimento .....	9
5.4 Compressão paralela às fibras .....	9
5.4.1 Princípio .....	9
5.4.2 Condições gerais .....	10
5.4.3 Preparação dos corpos de prova .....	11
5.4.4 Procedimento .....	11
5.5 Tração paralela às fibras .....	14
5.5.1 Princípio .....	14
5.5.2 Condições gerais .....	14
5.5.3 Preparação dos corpos de prova .....	14
5.5.4 Procedimento .....	15
5.6 Compressão perpendicular às fibras .....	16
5.6.1 Princípio .....	16
5.6.2 Condições gerais .....	16

5.6.3	Preparação dos corpos de prova .....	17
5.6.4	Procedimento .....	18
5.7	Tração perpendicular às fibras .....	19
5.7.1	Princípio .....	19
5.7.2	Condições gerais .....	19
5.7.3	Preparação dos corpos de prova .....	20
5.7.4	Procedimento .....	20
5.8	Cisalhamento .....	21
5.8.1	Princípio .....	21
5.8.2	Condições gerais .....	21
5.8.3	Preparação dos corpos de prova .....	21
5.8.4	Procedimento .....	22
5.9	Fendilhamento .....	23
5.9.1	Princípio .....	23
5.9.2	Condições gerais .....	23
5.9.3	Preparação dos corpos de prova .....	23
5.9.4	Procedimento .....	24
5.10	Flexão .....	24
5.10.1	Princípio .....	24
5.10.2	Condições gerais .....	25
5.10.3	Preparação dos corpos de prova .....	25
5.10.4	Procedimento .....	26
5.11	Dureza .....	27
5.11.1	Princípio .....	27
5.11.2	Condições gerais .....	27
5.11.3	Preparação dos corpos de prova .....	28
5.11.4	Procedimento .....	28
5.12	Resistência ao impacto na flexão .....	29
5.12.1	Princípio .....	29
5.12.2	Condições gerais .....	29
5.12.3	Preparação dos corpos de prova .....	30
5.12.4	Procedimento .....	31
5.13	Embutimento .....	31
5.13.1	Princípio .....	31
5.13.2	Condições gerais .....	32
5.13.3	Preparação do corpo de prova .....	32
5.13.4	Procedimento .....	33
Anexo A (informativo) Valores de classes de resistência para madeiras nativas .....		34

## Figuras

Figura 1 – Esquema para extração de corpos de prova das peças.....	5
Figura 2 – Corpo de prova para determinação da umidade da madeira.....	6

Figura 3 – Corpo de prova e sistema de orientação para determinação das propriedades de retração e inchamento .....	9
Figura 4 – Diagrama de tensão <i>versus</i> deformação específica para determinar a rigidez da madeira.....	11
Figura 5 – Corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras .....	11
Figura 6 – Exemplo de arranjo possível para o ensaio para compressão paralela às fibras (com relógios comparadores).....	13
Figura 7 – Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira .....	13
Figura 8 – Corpos de prova para ensaios de tração paralela às fibras.....	15
Figura 9 – Exemplo de arranjo de ensaio de tração paralela às fibras .....	16
Figura 10 – Diagrama de tensão <i>versus</i> deformação específica para determinação da rigidez da madeira na direção perpendicular às fibras.....	17
Figura 11 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de compressão perpendicular às fibras.....	18
Figura 12 – Arranjo de ensaio para compressão perpendicular às fibras.....	19
Figura 13 – Corpo de prova para tração perpendicular às fibras .....	20
Figura 14 – Arranjo para o ensaio de tração perpendicular às fibras .....	21
Figura 15 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na direção paralela às fibras .....	22
Figura 16 – Arranjo de ensaio para cisalhamento paralelo às fibras .....	23
Figura 17 – Corpo de prova para ensaio de fendilhamento .....	24
Figura 18 – Corpo de prova para ensaio de flexão .....	26
Figura 19 – Cutelo de aplicação de carga para o ensaio de flexão .....	27
Figura 20 – Corpo de prova para ensaio de dureza Janka .....	28
Figura 21 – Arranjo de ensaio para determinação da dureza Janka .....	29
Figura 22 – Dispositivo para o ensaio de resistência ao impacto na flexão .....	30
Figura 23 – Corpo de prova para ensaio de impacto na flexão .....	31
Figura 24 – Corpos de prova para ensaio de embutimento perpendicular .....	32

## Tabela

Tabela A.1 – Classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil.....	34
--	----

## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 7190-3 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (CE-002:126.010). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 12, de 21.12.2021 a 20.02.2022.

Esta Norma circulou na Consulta Nacional com a numeração ABNT NBR 17021. Por consenso, a CE-002.126.010 decidiu pela manutenção da numeração original para facilitar a associação ao número, e o documento foi publicado como ABNT NBR 7190-3.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 7190-3 é o seguinte:

## Scope

*This Standard specifies the test method for characterizing defect-free specimens for wood from native forests.*

*This Standard applies to the determination of properties necessary for the design of structures, in view of the complete, minimal and simplified characterization of sawn wood from native forests.*



## Projeto de estruturas de madeira

### Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas

## 1 Escopo

Esta Norma especifica os métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras provenientes de florestas nativas.

Esta Norma se aplica à caracterização de corpos de prova e determinação das propriedades necessárias para o projeto de estruturas, tendo em vista as caracterizações completa, mínima e simplificada da madeira serrada provenientes de florestas nativas.

## 2 Referência normativa

O documento a seguir é citado no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas)

ABNT NBR 7190-1, *Projeto de Estruturas de madeira – Parte 1: Critérios de dimensionamento*

## 3 Símbolos

### 3.1 Letras Romanas

$A$  Área

$E_{c0}$  Rigidez longitudinal – módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras

$E_{c90}$  Rigidez longitudinal – módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras

$E_{M0}$  Módulo de elasticidade na flexão

$F$  Ação ( $F_d$ ,  $F_k$ ); forças (em geral)

$f$  Resistência

$f_{bw}$  Resistência ao impacto à flexão

$f_{c0}$  Resistência à compressão paralela às fibras

$f_{c90}$  Resistência à compressão perpendicular às fibras

$f_{e0}$  Resistência ao embutimento paralelo às fibras

$f_{e90}$  Resistência ao embutimento perpendicular às fibras

$f_H$	Dureza Janka
$f_M$	Resistência à flexão
$f_{S0}$	Resistência ao fendilhamento
$f_{tM}$	Resistência convencional da madeira obtida no ensaio de flexão estática
$f_{t0}$	Resistência à tração paralela às fibras
$f_{t90}$	Resistência à tração perpendicular às fibras
$f_{v0}$	Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
$L_1$	Comprimento do corpo de prova na direção axial
$L_2$	Comprimento do corpo de prova na direção radial
$L_3$	Comprimento do corpo de prova na direção tangencial
$k$	Característico
$med$	Médio
$m_i$	Massa inicial
$m_s$	Massa final
$k$	Característico
$U$	Umidade
$V$	Volume
$W_e$	Módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova

### 3.2 Letras gregas

$\sigma$	Tensão
$\varepsilon$	Deformações específicas
$\varepsilon_r$	Deformações específicas de retração
$\varepsilon_i$	Deformações específicas de inchamento
$\rho_{bas}$	Densidade básica
$\rho_{ap}$	Densidade aparente

## 4 Caracterização da resistência da madeira serrada

### 4.1 Caracterização completa da madeira serrada

A caracterização completa é feita a partir da determinação de uma série de propriedades, conforme apresentado na sequência, referentes à condição-padrão de umidade ( $U = 12\%$ ):

- resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c,0}$ ) a ser determinada em ensaios de compressão uniforme, com duração total entre 3 min e 8 min, de corpos de prova com seção transversal quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 15 cm;
- rigidez longitudinal – módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras ( $E_{c0}$ ) a ser determinada em ensaios de compressão uniforme, com duração total entre 3 min e 8 min, de corpos de prova com seção transversal quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 15 cm;
- resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t,0}$ ) a ser determinada em ensaios de tração uniforme, com duração total de 3 min a 8 min, de corpos de prova alongados, com trecho central de seção transversal uniforme de área  $A$  e comprimento não menor que  $8\sqrt{A}$ , com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que assegurem a ruptura no trecho central;
- resistência à compressão perpendicular às fibras ( $f_{c,90}$ ) a ser determinada em um ensaio de compressão uniforme, com duração total de 3 min a 8 min, de corpos de prova de seção quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 10 cm;
- rigidez perpendicular às fibras - módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras ( $E_{c90}$ ) a ser determinada em um ensaio de compressão uniforme, com duração total de 3 min a 8 min, de corpos de prova de seção quadrada de 5 cm de lado e com comprimento de 10 cm;
- resistência à tração perpendicular às fibras ( $f_{t,90}$ ) a ser determinada por meio de ensaios padronizados;
- resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ( $f_{v,0}$ ) a ser determinada pelo ensaio de cisalhamento paralelo às fibras;
- resistência de embutimento paralelo às fibras ( $f_{e,0}$ ) e resistência de embutimento perpendicular às fibras ( $f_{e,90}$ ) a serem determinadas por meio de ensaios padronizados;
- resistência ao fendilhamento ( $f_{s0}$ ) a serem determinadas por meio de ensaios padronizados;
- resistência à flexão ( $f_M$ ) a serem determinadas por meio de ensaios padronizados;
- densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), determinada com os corpos de prova a 12 % de umidade.

**NOTA** Admite-se que a resistência e a rigidez da madeira não sofram variações significativas para umidade acima de 25%, e admite-se como desprezível a influência da temperatura na faixa usual de utilização de 10 °C a 65 °C.

### 4.2 Caracterização mínima da resistência de espécies de madeira pouco conhecidas

Para projeto estrutural, a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas deve ser feita por meio da determinação dos valores indicados a seguir, referentes à condição-padrão de umidade, de acordo com a ABNT NBR 7190-1:

- resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c,0}$ );

- b) resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t,0}$ ): permite-se admitir, na impossibilidade da realização do ensaio de tração uniforme, que este valor seja igual ao da resistência convencional na flexão;
- c) resistência ao cisalhamento paralelo às fibras ( $f_{v,0}$ );
- d) densidade aparente.

### 4.3 Caracterização simplificada da resistência da madeira serrada

Permite-se a caracterização simplificada das resistências da madeira de espécies usuais a partir dos ensaios de compressão paralela às fibras. Para as resistências a esforços normais, admite-se um coeficiente de variação de 18 % e para as resistências a esforços tangenciais um coeficiente de variação de 28 %. Para as espécies usuais, na falta da determinação experimental, permite-se adotar as seguintes relações para os valores característicos das resistências:

$$\frac{f_{c0,k}}{f_{t0,k}} = 0,77$$

$$\frac{f_{c90,k}}{f_{c0,k}} = 0,25$$

$$\frac{f_{e0,k}}{f_{c0,k}} = 1,0$$

$$\frac{f_{e90,k}}{f_{c0,k}} = 0,25$$

$$\frac{f_{tM,k}}{f_{t0,k}} = 1,0$$

$$\frac{f_{t90,k}}{f_{t0,k}} = 0,05$$

### 4.4 Caracterização da rigidez da madeira

A caracterização completa de rigidez das madeiras é feita por meio da determinação dos seguintes valores, que devem ser referidos à condição-padrão de umidade ( $U = 12\%$ ):

- a) valor médio do módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras:  $E_{c0,med}$  determinado com pelo menos dois ensaios;
- b) valor médio do módulo de elasticidade na compressão perpendicular às fibras:  $E_{c90,med}$  determinado com pelo menos dois ensaios.

Admite-se que sejam estatisticamente equivalentes os valores médios dos módulos de elasticidade à compressão e à tração paralelas às fibras:  $E_{c0,med} = E_{t0,med}$ . A caracterização simplificada da rigidez das madeiras pode ser feita apenas na compressão paralela às fibras, admitindo-se a relação

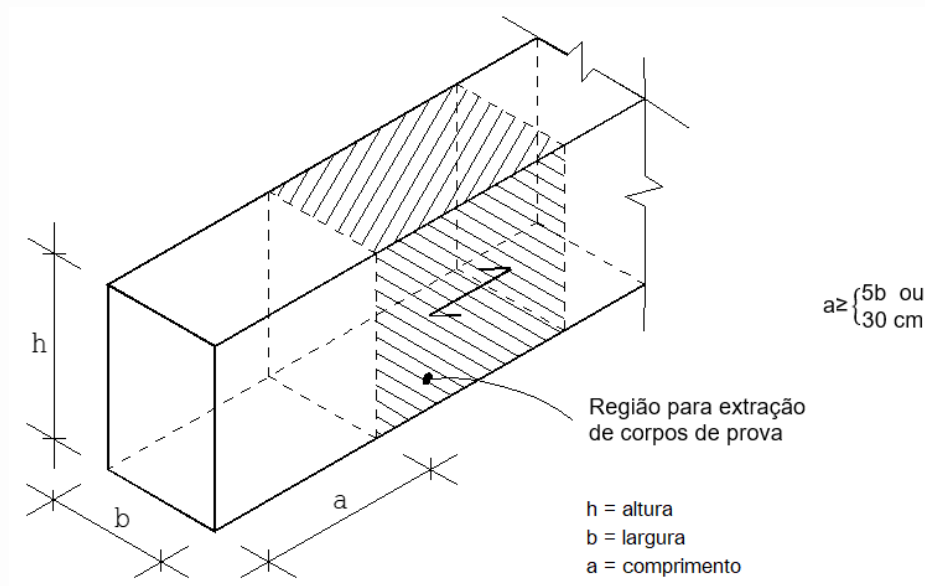
$$E_{c90} = \frac{1}{20} E_{c0}.$$

### 4.5 Região de retirada dos corpos de prova

Os corpos de prova são aplicáveis à madeira serrada com seção transversal retangular, sujeita a uma carga de curta duração (cerca de 1 min). O procedimento de avaliação não se destina ao controle de qualidade ou à aceitação de lotes de madeira.

Os corpos de prova devem ser retirados de regiões afastadas das extremidades das peças de pelo menos 5 vezes a menor dimensão da seção transversal, mas não inferior a 30 cm (ver Figura 1).

Para a investigação direta de lotes de madeira serrada considerados homogêneos, cada lote não pode ter volume superior a 12 m<sup>3</sup>.



### Legenda

- h altura  
 b largura  
 a comprimento

**Figura 1 – Esquema para extração de corpos de prova das peças**

O número mínimo de corpos de prova para caracterização deve ser conforme a seguir:

- caracterização completa da resistência de espécies desconhecidas: 30;
- caracterização mínima da resistência de espécies pouco conhecidas: 12;
- caracterização simplificada da resistência de espécies pouco conhecidas: 6.

## 4.6 Valores característicos

Os valores característicos das propriedades da madeira são estimados pela seguinte equação:

$$X_{wk} = \left( 2 \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - X_{\frac{n}{2}} \right) 1,1$$

Os resultados devem ser colocados em ordem crescente  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$  desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos de prova for ímpar, não se tomando para  $x_{wk}$  valor inferior a  $x_1$ , nem a 0,7 do valor médio da amostra completa ( $x_m$ ), nem superior a  $x_m$ .

## 4.7 Relatório

Os resultados dos ensaios devem ser apresentados em relatório técnico que deve conter:

- referência a esta Norma;

- b) descrição da amostra, com alusão às condições de armazenagem do lote;
- c) forma e dimensões dos corpos de prova, com indicação da direção das fibras;
- d) valores médios de umidade, de densidade e de parâmetros de estabilidade dimensional do lote;
- e) propriedades de resistência e de rigidez, que devem ser analisadas e apresentadas em valores característicos para resistência e em valor médio para o módulo de elasticidade, acompanhadas do respectivo teor de umidade.

## 5 Métodos de ensaio

### 5.1 Umidade

#### 5.1.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação do teor de umidade de lotes considerados homogêneos, de madeira serrada ou beneficiada, para ajuste das propriedades mecânicas de resistência e de rigidez.

#### 5.1.2 Condições gerais

O teor de umidade da madeira corresponde à relação entre a massa da água nela contida e a massa da madeira seca, e é calculado conforme a seguinte equação:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100$$

onde

$m_i$  é a massa inicial do corpo de prova, expressa em gramas (g);

$m_s$  é a massa da madeira do corpo de prova, expressa em gramas (g).

#### 5.1.3 Preparação dos corpos de prova

O corpo de prova deve ter seção transversal retangular, com dimensões nominais de 2 cm × 3 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 5 cm, como indicado na Figura 2.

Na fabricação dos corpos de prova, devem ser utilizadas ferramentas com afiação suficiente para se evitar a “queima” de suas faces, que pode provocar perda imediata de água, prejudicial à determinação da efetiva umidade da amostra.

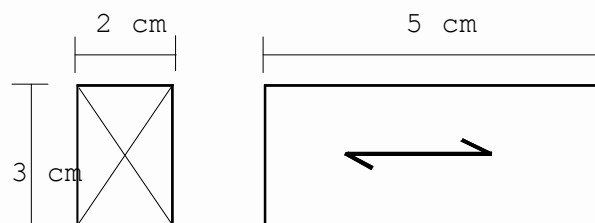


Figura 2 – Corpo de prova para determinação da umidade da madeira



#### 5.1.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- determinar a massa inicial ( $m_i$ ) do corpo de prova com precisão de 0,01 g.
- colocar o corpo de prova na câmara de secagem, com temperatura máxima de  $103\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ .
- durante a secagem, a massa do corpo de prova deve ser medida a cada 6 h, até que ocorra uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5 % da última massa medida. Esta massa é considerada como a massa seca ( $m_s$ );
- determinar a umidade, conforme equação em 5.1.2.

### 5.2 Densidade

#### 5.2.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da densidade aparente de um lote de madeira considerado homogêneo.

#### 5.2.2 Condições gerais

A densidade aparente,  $\rho_{ap}$ , é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpos de prova com teor de umidade de 12 %, calculada conforme a seguinte equação:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

onde

$m_{12}$  é a massa do corpo de prova a 12 % de umidade, expressa em quilogramas (kg);

$V_{12}$  é o volume do corpo de prova a 12 % de umidade, expressa em metros cúbicos ( $m^3$ ).

#### 5.2.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ser prismáticos, com seção transversal nominal de 2 cm por 3 cm, e comprimento, ao longo das fibras, de 5 cm. Se a distância radial entre anéis de crescimento for maior que 4 mm, a seção transversal deve ser aumentada para abranger pelo menos 5 anéis.

#### 5.2.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- na determinação da densidade aparente, a massa e o volume devem ser medidos em corpos de prova com teor de umidade de 12 %;
- conhecidos os valores de  $m_{12}$  e de  $V_{12}$ , determina-se a densidade aparente conforme 5.2.1;
- eventuais ajustes do valor da densidade aparente para a umidade de referência devem ser feitos utilizando-se o Diagrama de Kollmann.

### 5.3 Estabilidade dimensional da madeira

#### 5.3.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação do grau de estabilidade dimensional da madeira de um lote considerado homogêneo por meio das propriedades de retração e inchamento.

#### 5.3.2 Condições gerais

A estabilidade dimensional da madeira é caracterizada pelas propriedades de retração e de inchamento, sendo a madeira considerada como um material ortótropo, com direções preferenciais 1, 2 e 3, correspondentes, respectivamente, às direções axial, radial e tangencial. Devem ser determinadas a retração tangencial, a retração radial, a retração axial, o inchamento tangencial, o inchamento radial e o inchamento axial.

As deformações específicas de retração,  $\varepsilon_r$ , e de inchamento,  $\varepsilon_i$ , são consideradas como índices de estabilidade dimensional e são determinadas, para cada uma das direções preferenciais, em função das respectivas dimensões da madeira saturada (verde) e seca, calculadas conforme as seguintes equações:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{r,1} &= \left( \frac{L_{1,sat} - L_{1,seco}}{L_{1,sat}} \right) \times 100 & \varepsilon_{i,1} &= \left( \frac{L_{1,sat} - L_{1,seco}}{L_{1,seco}} \right) \times 100 \\ \varepsilon_{r,2} &= \left( \frac{L_{2,sat} - L_{2,seco}}{L_{2,sat}} \right) \times 100 & \varepsilon_{i,2} &= \left( \frac{L_{2,sat} - L_{2,seco}}{L_{2,seco}} \right) \times 100 \\ \varepsilon_{r,3} &= \left( \frac{L_{3,sat} - L_{3,seco}}{L_{3,sat}} \right) \times 100 & \varepsilon_{i,3} &= \left( \frac{L_{3,sat} - L_{3,seco}}{L_{3,seco}} \right) \times 100\end{aligned}$$

A variação volumétrica é determinada em função das dimensões do corpo de prova nos estados saturado e seco, sendo calculada conforme a seguinte equação:

$$\Delta V = \frac{V_{sat} - V_{seco}}{V_{sat}} \times 100$$

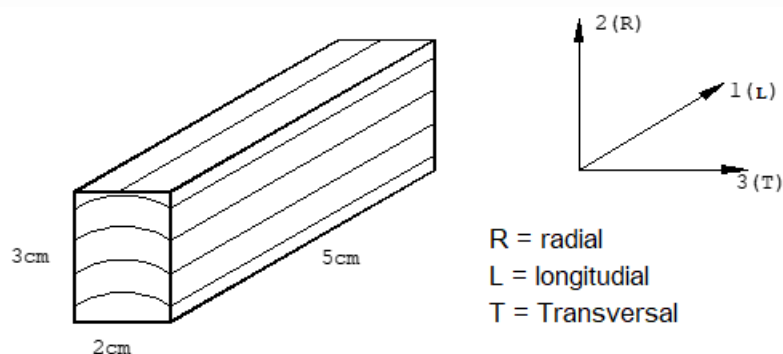
onde

$$V_{sat} = L_{1,sat} \times L_{2,sat} \times L_{3,sat};$$

$$V_{seco} = L_{1,seco} \times L_{2,seco} \times L_{3,seco}.$$

#### 5.3.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ser fabricados com o lado maior da seção transversal paralelo à direção radial, como indicado na Figura 3.



#### Legenda

R radial

L longitudinal

T transversal

**Figura 3 – Corpo de prova e sistema de orientação para determinação das propriedades de retração e inchamento**

#### 5.3.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para o estudo da retratibilidade, os corpos de prova devem conter umidade acima do ponto de saturação das fibras. Quando o teor de umidade for menor que o ponto de saturação das fibras, deve-se reumidificar os corpos de prova. Para isso, estes devem ser colocados em um ambiente saturado, com temperatura de  $20\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$  até que a variação dimensional se estabilize em torno da diferença de 0,02 mm, entre duas medidas sucessivas. A reumidificação dos corpos de prova deve ser reportada no relatório técnico do ensaio;
- para o estudo do inchamento, os corpos de prova devem estar secos. Geralmente é utilizado o mesmo tipo de corpo de prova empregado para o estudo da retratibilidade;
- determinar as distâncias entre os lados dos corpos de prova durante os processos de secagem e de reumidificação, com precisão de 0,01 mm. As distâncias devem ser determinadas com pelo menos três medidas em cada lado dos corpos de prova;
- os procedimentos de secagem dos corpos de prova devem ser realizados conforme 5.1.4;
- os corpos de prova que apresentarem defeitos de secagem devem ser descartados.

### 5.4 Compressão paralela às fibras

#### 5.4.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência e da rigidez à compressão paralela às fibras da madeira de um lote considerado homogêneo.

### 5.4.2 Condições gerais

A resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo de prova com seção transversal nominal de 5 cm de lado e comprimento de 15 cm, calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A}$$

onde

$F_{c0,max}$  é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, expressa em Newtons (N);

$A$  é a área inicial da seção transversal comprimida, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

$f_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras, expressa em Megapascals (MPa).

A rigidez da madeira na direção paralela às fibras deve ser determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama de tensão *versus* deformação específica, como indicado na Figura 4, expresso em Megapascals.

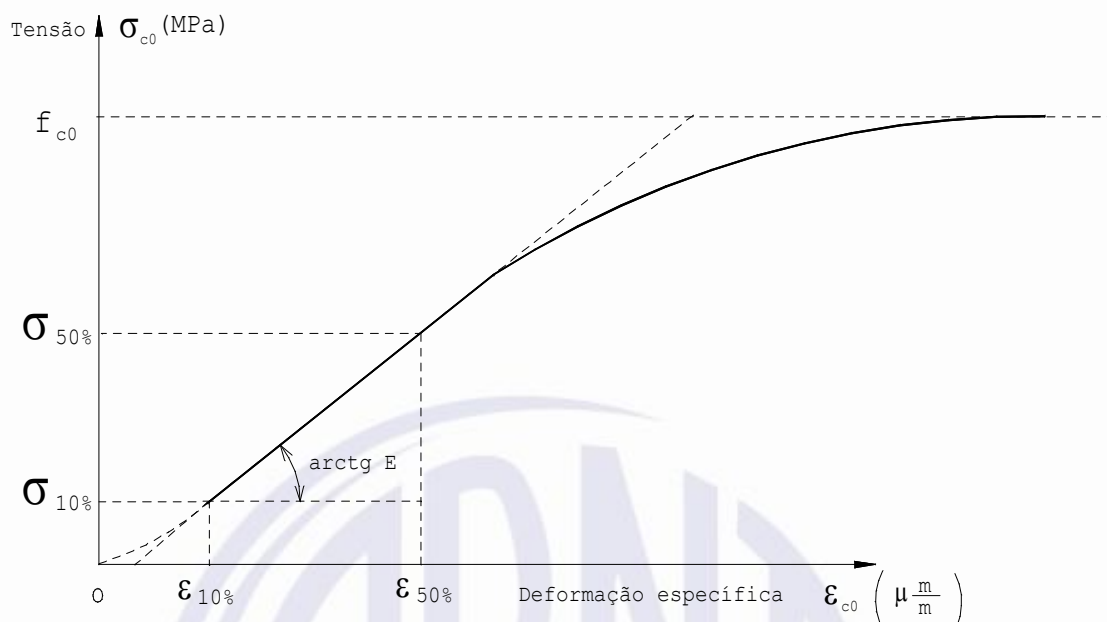
Para esta finalidade, o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva de tensão *versus* deformação, definida pelos pontos ( $\sigma_{10\%}; \varepsilon_{10\%}$ ) e ( $\sigma_{50\%}; \varepsilon_{50\%}$ ), correspondentes respectivamente a 10 % e 50 % da resistência à compressão paralela às fibras, medida no ensaio, calculado conforme a seguinte equação:

$$E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$$

onde

$\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  são as tensões de compressão correspondentes a 10 % e 50 % da resistência  $f_{c0}$ , representadas pelos pontos 31 e 45 do diagrama de carregamento, ver Figura 7;

$\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  são as deformações específicas medidas no corpo de prova, correspondentes às tensões de  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ .



**Figura 4 – Diagrama de tensão *versus* deformação específica para determinar a rigidez da madeira**

#### 5.4.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ter forma prismática com seção transversal quadrada, de dimensões nominais 5 cm de lado, e comprimento de 15 cm, como representado na Figura 5.



**Figura 5 – Corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras**

Para a caracterização da resistência à compressão de um dado lote de peças delgadas, permite-se empregar corpos de prova com seção transversal quadrada, com lado igual à espessura do elemento delgado, com pelo menos 1,8 cm, e comprimento igual a três vezes o lado da seção transversal, ensaiando-se pelo menos 12 corpos de prova, extraídos aleatoriamente de 12 diferentes peças delgadas, conforme 4.5.

#### 5.4.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação das propriedades de resistência e de rigidez, as medidas dos lados do corpo de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- para a determinação do módulo de elasticidade, devem ser feitas medidas de deformações em pelo menos duas faces opostas do corpo de prova;

- c) para determinação do módulo de elasticidade, podem ser utilizados medidores mecânicos de deformação, com sensibilidade 0,001 mm, devidamente fixados no corpo de prova, como exemplificado na Figura 6;
- d) no caso do emprego de extensômetros, as medidas das deformações específicas devem ser feitas com precisão mínima de 50  $\mu\text{m/m}$ ;
- e) para o ajuste do corpo de prova à máquina de ensaio, deve-se utilizar uma rótula entre o atuador e o corpo de prova;
- f) a resistência deve ser determinada com carregamento monotônico crescente com uma taxa em torno de 10 MPa/min;
- g) para determinação da rigidez, a resistência da madeira deve ser estimada ( $f_{c0,est}$ ) pelo ensaio destrutivo de um corpo de prova selecionado da mesma amostra a ser investigada;
- h) conhecida a resistência estimada da amostra  $f_{c0,est}$ , o carregamento deve ser aplicado com ciclos de carga e descarga, de acordo com o diagrama de carregamento (ver Figura 7);
- i) os registros das forças e das deformações devem ser feitos para cada ponto do diagrama de carregamento conforme Figura 7.
- j) para ensaios com instrumentação baseada em extensômetros mecânicos fixados no corpo de prova, devem ser registradas para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 7, até 70 % da força estimada para a ruptura. Em seguida, retira-se a instrumentação e eleva-se a força até a ruptura do corpo de prova;
- k) para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com ambiente (seco ao ar).



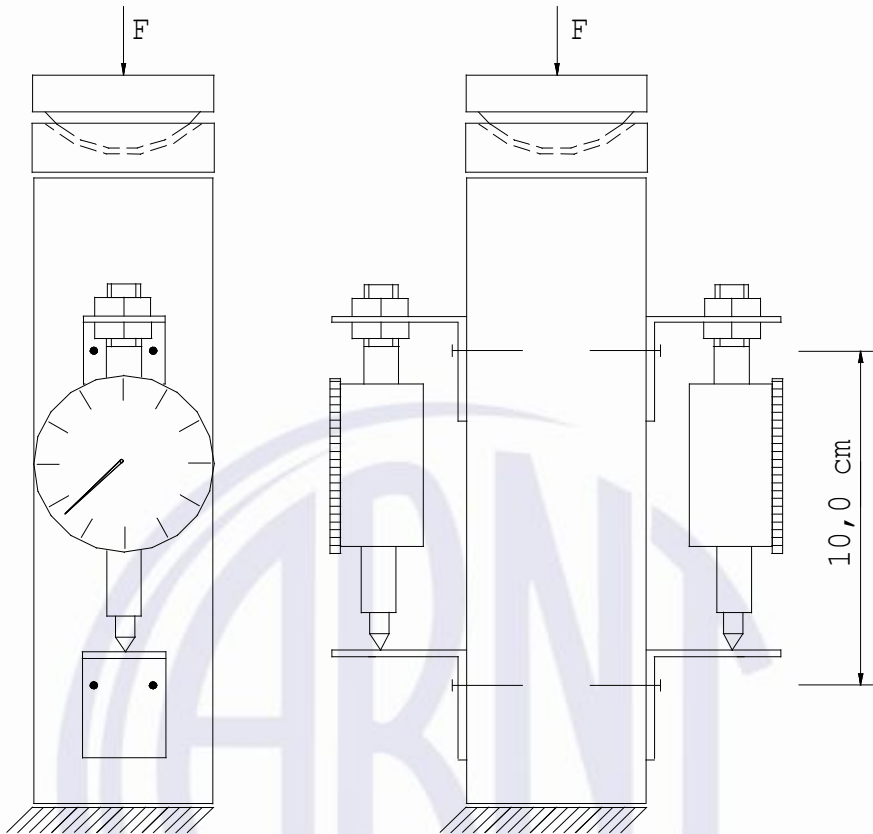


Figura 6 – Exemplo de arranjo possível para o ensaio para compressão paralela às fibras (com relógios comparadores)

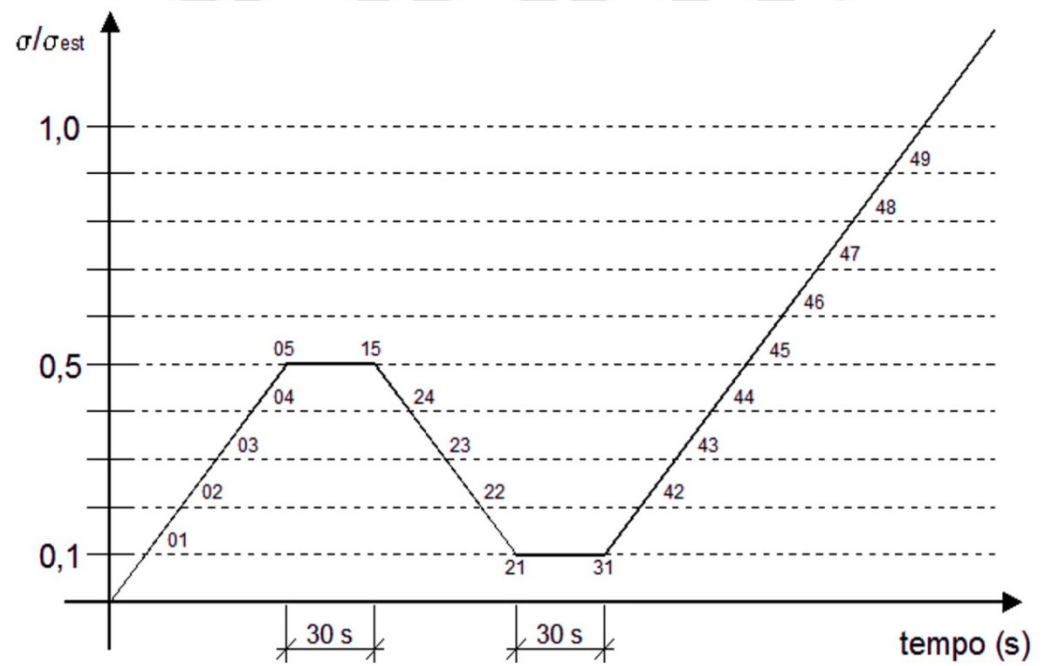


Figura 7 – Diagrama de carregamento para determinação da rigidez da madeira

## 5.5 Tração paralela às fibras

### 5.5.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência e da rigidez à tração paralela às fibras da madeira de um lote considerado homogêneo.

### 5.5.2 Condições gerais

A resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t0}$ ) é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo de prova alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área  $A$  e comprimento não menor que  $8\sqrt{A}$ , com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que assegurem a ruptura no trecho central, calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{t0} = \frac{F_{t0,max}}{A}$$

onde

$F_{t0,max}$  é a máxima força de tração aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, expressa em Newtons (N);

$A$  é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

$f_{t0}$  é a resistência à tração paralela às fibras, expressa em Megapascals (MPa).

A rigidez da madeira na direção paralela às fibras deve ser determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama de tensão *versus* deformação específica, como indicado na Figura 4.

Para esta finalidade, o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva de tensão *versus* deformação, definida pelos pontos ( $\sigma_{10\%}; \varepsilon_{10\%}$ ) e ( $\sigma_{50\%}; \varepsilon_{50\%}$ ) correspondentes, respectivamente a 10 % e 50 % da resistência à tração paralela às fibras medida no ensaio, calculado conforme a seguinte equação:

$$E_{t0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$$

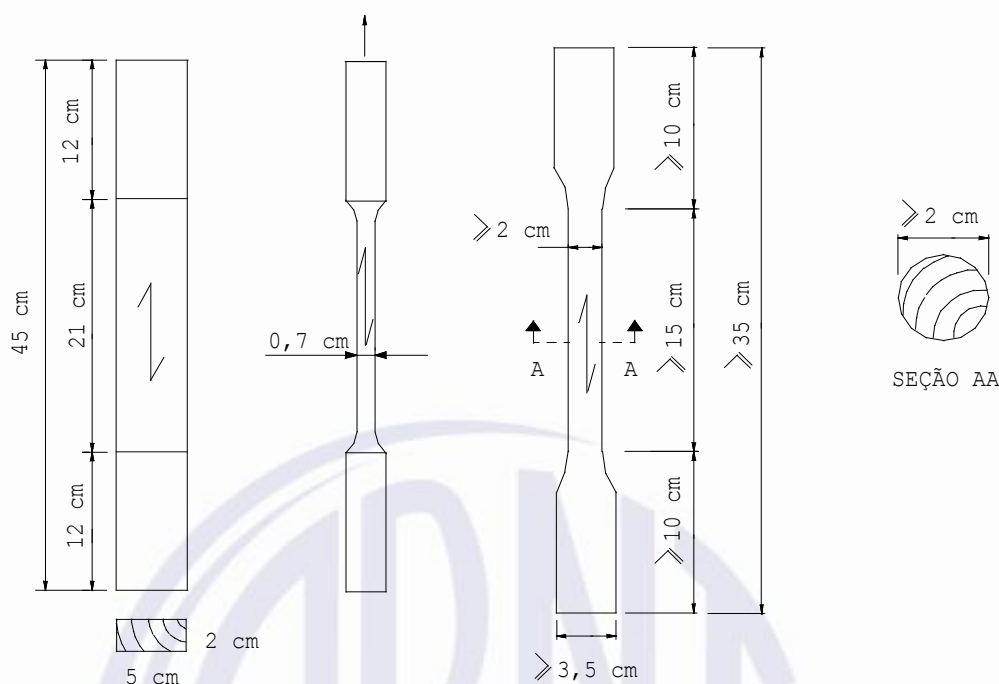
onde

$\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  são as tensões de tração correspondentes a 10% e 50% da resistência  $f_{t0}$ , representadas pelos pontos 31 e 45 do diagrama de carregamento, (ver Figura 7);

$\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  são as deformações específicas de tração medidas no trecho central do corpo de prova alongado, correspondentes às tensões de  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ , respectivamente.

### 5.5.3 Preparação dos corpos de prova

Para determinação da resistência e do módulo de elasticidade na tração paralela às fibras, deve ser utilizado um dos dois tipos de corpos de prova indicados na Figura 8.



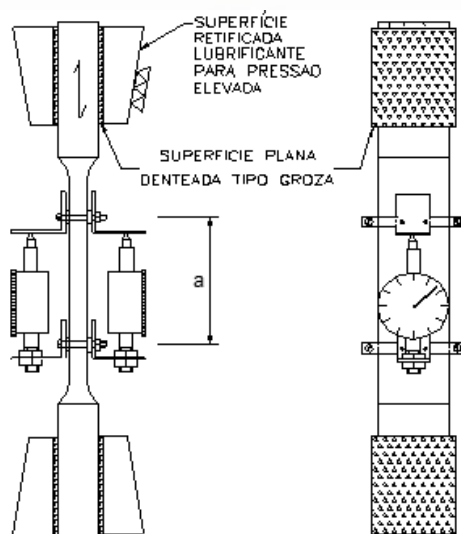
**Figura 8 – Corpos de prova para ensaios de tração paralela às fibras**

#### 5.5.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação das propriedades de resistência e rigidez, as medidas do comprimento e do diâmetro do trecho central dos corpos de prova devem ser feitas com precisão 0,1 mm;
- para determinação do módulo de elasticidade devem ser feitas medidas em pelo menos duas faces opostas do corpo de prova e, no caso de corpo de prova com seção circular, em duas posições diametralmente opostas;
- para determinação do módulo de elasticidade, podem ser utilizados medidores de deformação, com sensibilidade 0,001 mm, devidamente fixados no corpo de prova, como exemplificado na Figura 9;
- no caso do emprego de extensômetros, as medidas das deformações específicas devem ser feitas com precisão mínima de 50  $\mu\text{m}/\text{m}$ ;
- para o ajuste do corpo de prova à máquina de ensaios, devem ser utilizados pares simétricos de garras;
- o carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 10 MPa/min;
- para determinação da rigidez, a resistência da madeira deve ser estimada ( $f_{t0,est}$ ) pelo ensaio destrutivo de um corpo de prova gêmeo, selecionado da mesma amostra a ser investigada;
- em seguida, o carregamento deve ser aplicado com ciclos de carga e descarga, de acordo com o diagrama de carregamento da Figura 7;

- i) os registros das forças e das deformações devem ser feitos para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 7;
- j) para ensaios com instrumentação baseada em extensômetros mecânicos fixados no corpo de prova, devem ser registrados, para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 7, até 70 % da força estimada para a ruptura. Em seguida, retira-se a instrumentação e eleva-se o carregamento até a ruptura do corpo de prova;
- k) para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com ambiente (seco ao ar).



#### Legenda

A distância entre apoios dos medidores

O valor de  $a$  deve ser usado para o cálculo da deformação específica  $\epsilon = (\mu \text{ mm/mm})$

**Figura 9 – Exemplo de arranjo de ensaio de tração paralela às fibras**

## 5.6 Compressão perpendicular às fibras

### 5.6.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência e da rigidez à compressão perpendicular às fibras da madeira de um lote considerado homogêneo.

### 5.6.2 Condições gerais

A resistência à compressão perpendicular às fibras ( $f_{c90}$ ) é o valor convencional determinado pela deformação específica residual de 2 %, mostrado na Figura 10, obtido em um ensaio de compressão uniforme em corpos de prova prismáticos.

A rigidez da madeira na direção perpendicular às fibras deve ser determinada por seu módulo de elasticidade, obtido do trecho linear do diagrama de tensão *versus* deformação específica (ver Figura 10).

Para esta finalidade, o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva de tensão *versus* deformação, definida pelos pontos ( $\sigma_{10\%}; \epsilon_{10\%}$ ) e ( $\sigma_{50\%}; \epsilon_{50\%}$ ), correspondentes

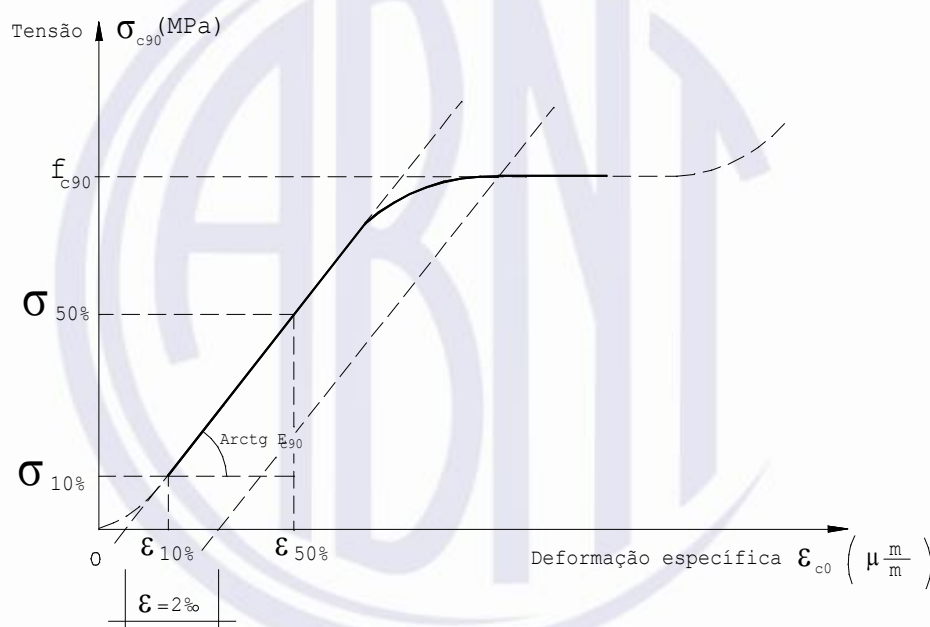
respectivamente a 10 % e 50 % da resistência convencional à compressão perpendicular às fibras  $f_{c90}$ , calculado conforma seguinte equação:

$$E_{c90} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$$

onde

$\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  são as tensões de compressão perpendicular, correspondentes a 10% e 50% da resistência convencional  $f_{c90}$ , representadas pelos pontos 31 e 45 do diagrama de carregamento mostrado na Figura 7;

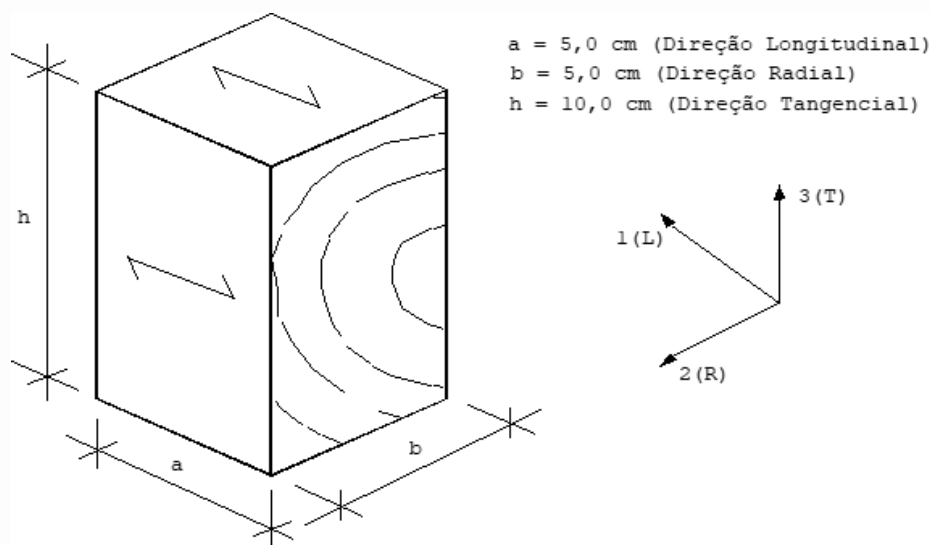
$\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  são as deformações específicas medidas na direção perpendicular às fibras correspondentes as tensões  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ .



**Figura 10 – Diagrama de tensão versus deformação específica para determinação da rigidez da madeira na direção perpendicular às fibras**

### 5.6.3 Preparação dos corpos de prova

O corpo de prova deve ter forma prismática, de seção transversal quadrada, com dimensões nominais de 5 cm de lado e altura, na direção tangencial, de 10 cm, como indicado na Figura 11.



### Legenda

$a = 5,0 \text{ cm}$  (direção longitudinal)

$b = 5,0 \text{ cm}$  (direção radial)

$h = 10,0 \text{ cm}$  (direção tangencial)

**Figura 11 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de compressão perpendicular às fibras**

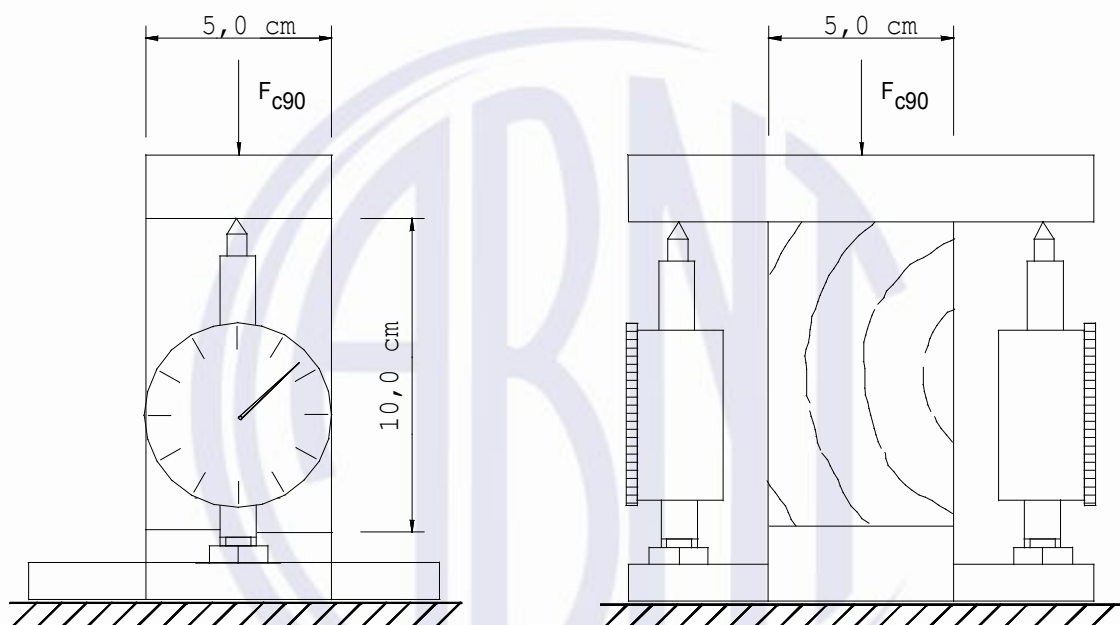
### 5.6.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação das propriedades de resistência e rigidez, as medidas dos lados dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- para determinação do módulo de elasticidade, devem ser feitas medidas de deformações em pelo menos duas faces opostas do corpo de prova;
- na determinação do módulo de elasticidade, são usados relógios comparadores, de sensibilidade 0,001 mm, para medidas das deformações totais do corpo de prova, Figura 12;
- para o ajuste do corpo de prova à máquina de ensaio, deve-se utilizar uma rótula entre o atuador e a placa na face superior do corpo de prova;
- o carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 10 MPa/min.
- para determinação da rigidez, a resistência da madeira deve ser estimada ( $f_{c90,est}$ ) por ensaio destrutivo de um corpo de prova gêmeo, selecionado da mesma amostra a ser investigada;
- conhecida a resistência estimada da amostra  $f_{c90,est}$ , o carregamento deve ser aplicado com ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento especificado no diagrama da Figura 7. A taxa de carregamento deve ser em torno de 10 MPa/min;
- os registros das forças e das deformações devem ser feitos para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 7;



- i) para os ensaios com instrumentação baseada em extensômetros mecânicos fixados no corpo de prova, as deformações devem ser registradas para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 7, até 70% da carga estimada. Em seguida, deve-se retirar a instrumentação e elevar o carregamento até a ruptura do corpo de prova;
- j) para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente (seco ao ar);
- k) o carregamento deve ser aplicado de preferência na direção tangencial (eixo 3) (ver Figura 11).



**Figura 12 – Arranjo de ensaio para compressão perpendicular às fibras**

## 5.7 Tração perpendicular às fibras

### 5.7.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência à tração perpendicular às fibras da madeira de um lote considerado homogêneo.

### 5.7.2 Condições gerais

A resistência à tração perpendicular às fibras da madeira ( $f_{t90}$ ) é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo de prova com a configuração apresentada na Figura 13, sendo calculada por:

$$f_{t90} = \frac{F_{t90,max}}{A_{t90}}$$

onde

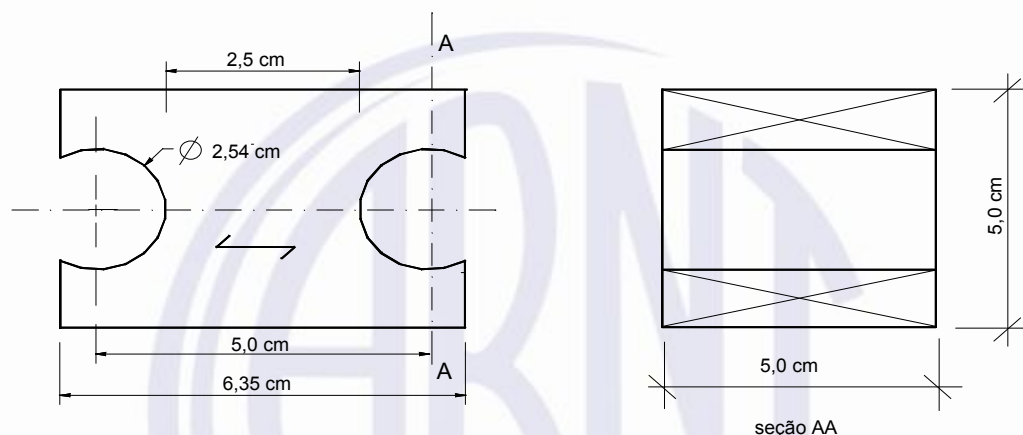
$F_{t90,max}$  é a máxima força de tração perpendicular aplicada ao corpo de prova, expressa em Newtons (N);

$A_{t90}$  é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

A resistência à tração perpendicular às fibras determinada por meio do corpo de prova indicado na Figura 13 deve ser utilizada apenas para estudos comparativos entre diferentes espécies de madeira, não podendo ser aplicada na avaliação da segurança das estruturas de madeira.

### 5.7.3 Preparação dos corpos de prova

O corpo de prova deve ser confeccionado conforme indicado na Figura 13 e sua maior dimensão deve corresponder à direção das fibras.

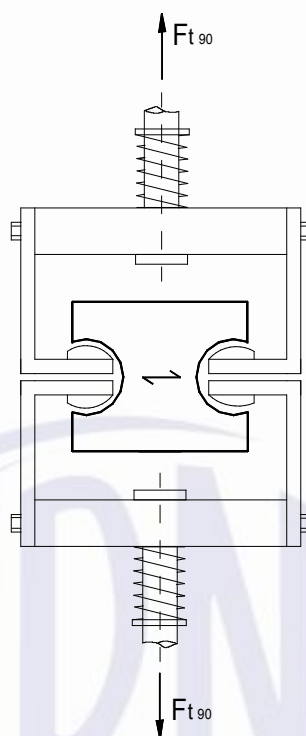


**Figura 13 – Corpo de prova para tração perpendicular às fibras**

### 5.7.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação da resistência à tração perpendicular às fibras, as medidas das faces dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- para ajustar o corpo de prova à máquina de ensaio, utilizam-se acessórios específicos para encaixe nos orifícios, para possibilitar a aplicação da força que traciona o corpo de prova;
- O carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 2,5 MPa/min;
- para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente (seco ao ar);
- o carregamento deve ser aplicado de preferência na direção tangencial;
- o arranjo de ensaio para tração perpendicular às fibras com o corpo de prova (ver Figura 13) deve estar conforme Figura 14.



**Figura 14 – Arranjo para o ensaio de tração perpendicular às fibras**

## 5.8 Cisalhamento

### 5.8.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira de um lote considerado homogêneo.

### 5.8.2 Condições gerais

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira ( $f_{v0}$ ) é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na seção crítica de um corpo de prova prismático, calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,max}}{A_{v0}}$$

onde

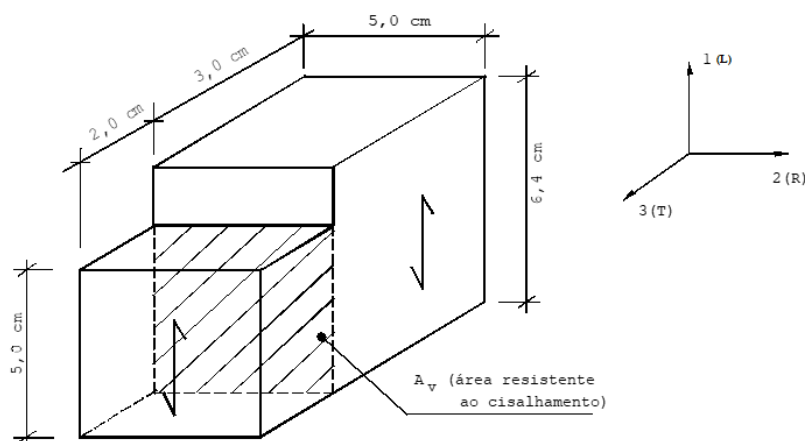
$f_{v0,max}$  é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova, expressa em Newtons (N);

$A_{v0}$  é a área inicial da seção crítica do corpo de prova, em um plano paralelo às fibras, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

### 5.8.3 Preparação dos corpos de prova

O corpo de prova para o ensaio de cisalhamento deve ter a forma indicada na Figura 15.

O corpo de prova deve ser fabricado com o plano da seção crítica paralelo à direção radial da madeira (perpendicular ao eixo 3) (ver Figura 15).



**Figura 15 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na direção paralela às fibras**

#### 5.8.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, as medidas dos lados dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- para o ajuste do corpo de prova na máquina de ensaio, devem ser utilizados os acessórios específicos para este tipo de ensaio;
- o carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 2,5 MPa/min;
- para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente;
- a Figura 16 mostra o arranjo de ensaio para determinar a resistência ao cisalhamento paralela.

Technical drawing of a mechanical part showing three views: Vista Frontal, Vista Superior, and Vista Lateral. The part has a square base with a central hole and a complex top structure. Dimensions are provided in millimeters.

**VISTA FRONTAL:** Shows the front view of the part. The base is a square with a side length of 60 mm. The top structure consists of a central vertical rod with a hexagonal top. The base has a central hole with a diameter of 12 mm. The height of the base is 60 mm. The top structure has a total height of 45 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm.

**VISTA SUPERIOR:** Shows the top view of the part. The base is a square with a side length of 60 mm. The central hole has a diameter of 12 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm.

**VISTA LATERAL:** Shows the side view of the part. The base is a square with a side length of 60 mm. The top structure has a total height of 45 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm. The base has a central hole with a diameter of 12 mm.

## 5.9 Fendilhamento

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência ao fendilhamento paralelo às fibras da madeira de um lote considerado homogêneo.

A resistência ao fendilhamento paralelo às fibras da madeira ( $f_{s0}$ ) é dada pela máxima tensão que pode atuar no corpo de prova de madeira indicado na Figura 17, sendo calculada conforme a seguinte equação:

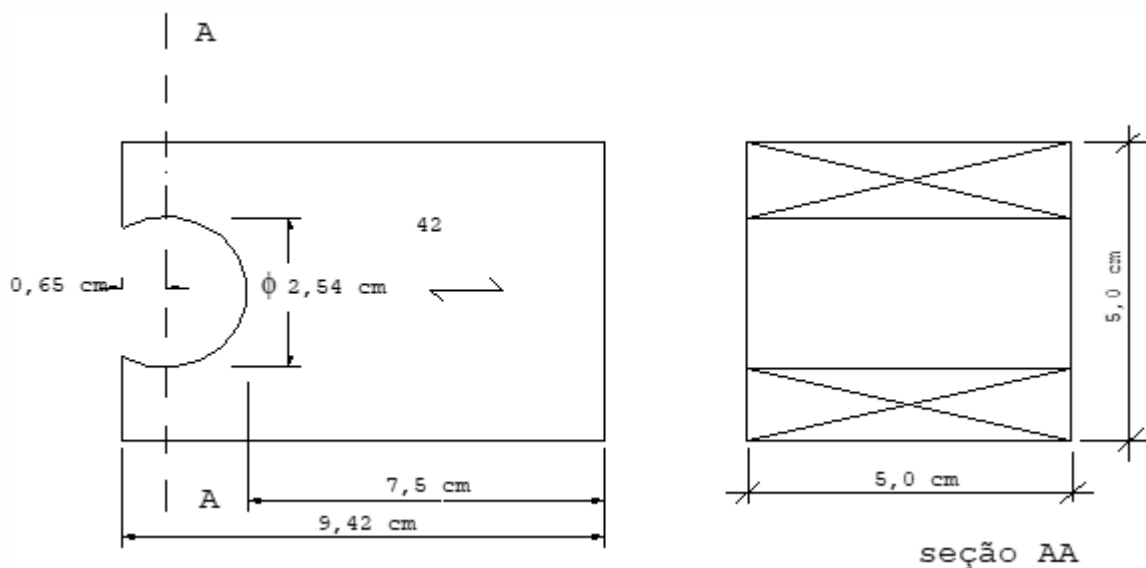
onde

$A_{s0}$  é a área crítica da seção transversal do corpo de prova, resistente ao fendilhamento, expressa em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ).

A resistência ao fendilhamento é um valor convencional, dependente da forma e das distâncias entre os lados do corpo de prova, tal como indicado na Figura 17. Esta propriedade deve ser utilizada apenas para estudo comparativo entre espécies de madeira.

O corpo de prova para o ensaio de fendilhamento paralelo às fibras deve ter a forma indicada na Figura 17.

O corpo de prova deve ser fabricado de preferência com o plano da seção crítica perpendicular à direção radial da madeira (direção do eixo 2).



**Figura 17 – Corpo de prova para ensaio de fendilhamento**

#### 5.9.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação da resistência ao fendilhamento paralelo às fibras, as medidas dos lados dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- para o ajuste do corpo de prova na máquina de ensaio, devem ser utilizados os acessórios específicos para este tipo de ensaio;
- o carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa em torno de 2,5 MPa/min;
- para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente.

### 5.10 Flexão

#### 5.10.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência e da rigidez da madeira à flexão de um lote considerado homogêneo.



### 5.10.2 Condições gerais

A resistência da madeira à flexão ( $f_M$ ) é um valor convencional, dado pela máxima tensão que pode atuar em um corpo de prova no ensaio de flexão simples, determinado com a hipótese de a madeira ser um material elástico, sendo calculado conforme a equação a seguir:

$$f_M = \frac{M_{\max}}{W_e}$$

onde

$M_{\max}$  é o máximo momento aplicado ao corpo de prova, expresso em Newtons vezes milímetros (N.mm);

$W_e$  é o módulo de resistência elástico da seção transversal do corpo de prova, dado por  $bh^2/6$ , expresso em milímetros cúbicos (mm<sup>3</sup>).

A rigidez da madeira à flexão é caracterizada pelo módulo de elasticidade determinado no trecho linear do diagrama força *versus* deslocamento, indicado na Figura 4.

Para esta finalidade, o módulo de elasticidade deve ser determinado pela inclinação da reta secante à curva de força *versus* deslocamento no meio do vão, definida pelos pontos ( $F_{M10\%}$ ;  $v_{10\%}$ ) e ( $F_{M50\%}$ ;  $v_{50\%}$ ) correspondentes respectivamente a 10% e 50% da força máxima de ensaio, estimada por meio de um corpo de prova gêmeo, calculado conforme a seguinte equação:

$$E_{M0} = \frac{(F_{M,50\%} - F_{M,10\%}) L^3}{(v_{50\%} - v_{10\%}) 4bh^3}$$

onde

$F_{M,10\%}$  e  $F_{M,50\%}$  são as forças correspondentes a 10% e 50% da força máxima estimada, aplicada ao corpo de prova, expressas em Newtons (N), representadas pelos pontos 31 e 45 do diagrama de carregamento conforme Figura 7;

$v_{10\%}$  e  $v_{50\%}$  são os deslocamentos no meio do vão correspondentes a 10% e 50% da força máxima estimada  $F_{M,est}$ , expressos em milímetros (mm);

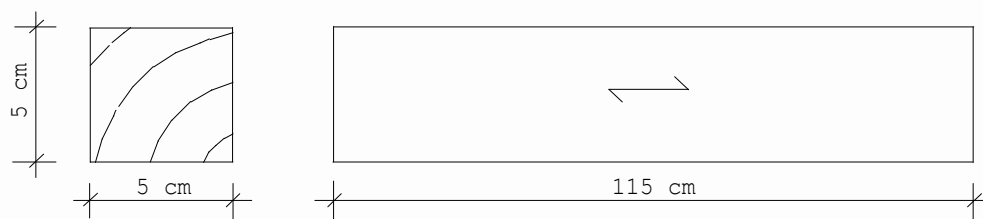
$b$  corresponde à largura da seção transversal do corpo de prova, expressas em milímetros (mm);

$h$  corresponde à altura da seção transversal do corpo de prova, expressas em milímetros (mm).

### 5.10.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ter forma prismática, de seção transversal quadrada, com dimensões nominais de 5 cm de lado e comprimento, na direção paralela às fibras, de 115 cm, como mostrado na Figura 18.

O corpo de prova deve ser fabricado de preferência com o plano de flexão perpendicular à direção radial da madeira, não se admitindo inclinações de fibras maiores que 6° em relação ao comprimento do corpo de prova.

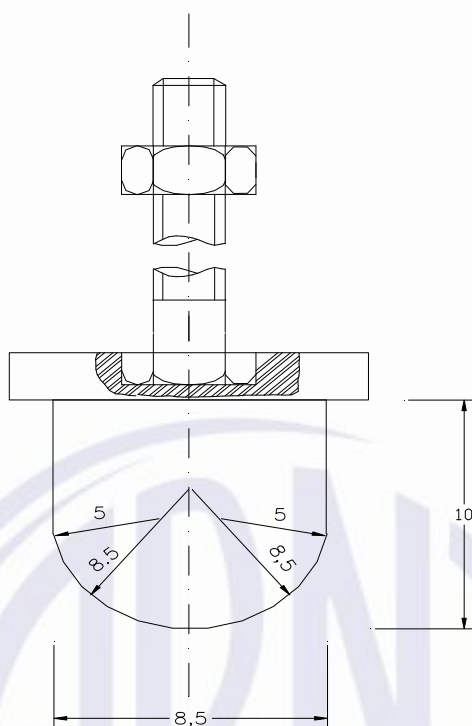


**Figura 18 – Corpo de prova para ensaio de flexão**

#### 5.10.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação da resistência convencional à flexão, as medidas dos lados do corpo de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- no ensaio, o corpo de prova deve ser vinculado a dois apoios móveis, com vão livre igual a 21 vezes a altura do corpo de prova; o equilíbrio do sistema é assegurado pelo atrito com o atuador;
- o carregamento consiste em uma força concentrada aplicada por meio de um cutelo acoplado ao atuador, como indicado na Figura 19;
- no ensaio para determinação da resistência convencional à flexão, o carregamento deve ser monotônico crescente com uma taxa em torno de 10 MPa/min;
- para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente;
- para a determinação da rigidez, a resistência deve ser estimada ( $f_{M,est}$ ) pelo ensaio destrutivo de um corpo de prova gêmeo, selecionado da mesma amostra a ser investigada;
- conhecida a resistência estimada da amostra  $f_{M,est}$ , o carregamento deve ser aplicado com ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento especificado no diagrama de carregamento da Figura 7;
- os deslocamentos no meio do vão são medidos para cada ponto do diagrama de carregamento especificado na Figura 7, com medidores de deslocamentos com precisão de 0,01 mm;
- para os ensaios com instrumentação fixada ao corpo de prova, os deslocamentos devem ser registrados para cada ponto do diagrama de carregamento (ver Figura 7) até 70 % da força estimada. Em seguida, retira-se a instrumentação e eleva-se a força até a ruptura do corpo de prova.



**Figura 19 – Cutelo de aplicação de carga para o ensaio de flexão**

## 5.11 Dureza

### 5.11.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da dureza da madeira de um lote considerado homogêneo, pelo método de Janka.

### 5.11.2 Condições gerais

A dureza da madeira ( $f_H$ ) proposta por Janka é determinada convencionalmente pela tensão que, atuando em uma das faces de um corpo de prova prismático, produz a penetração de uma semiesfera de aço com área diametral de 1 cm<sup>2</sup>, sendo calculada conforme a seguinte equação:

$$f_H = \frac{F_{\max}}{A_{\text{seção diametral}}}$$

onde

$F_{\max}$  é a máxima força aplicada ao corpo de prova necessária à penetração de uma semiesfera de seção diametral com 1 cm<sup>2</sup> de área na profundidade igual ao seu raio, expressa em Newtons (N);

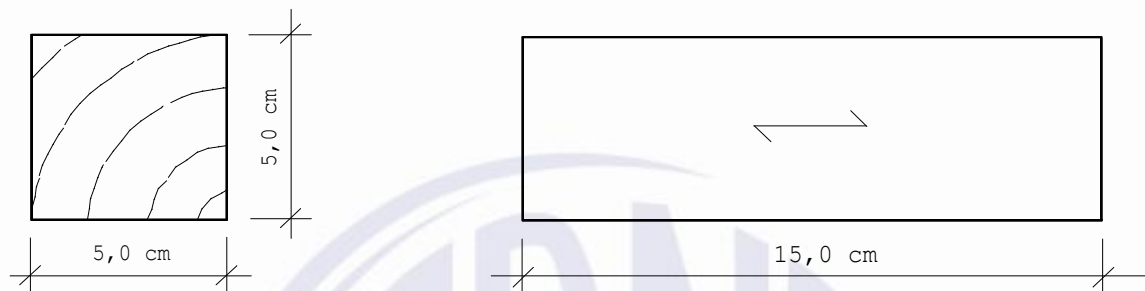
$A_{\text{seção diametral}}$  é a área da seção diametral da esfera, igual a 1 cm<sup>2</sup> (100 mm<sup>2</sup>).

Para esta finalidade, a dureza da madeira é medida na direção paralela às fibras ( $f_{H0}$ ) e na direção perpendicular às fibras ( $f_{H90}$ ).

### 5.11.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ter forma prismática de seção quadrada, com dimensões nominais de 5 cm e comprimento, ao longo das fibras, de 15 cm, como indicado na Figura 20.

O corpo de prova deve ser fabricado com seus lados menores perpendiculares às direções preferenciais da madeira.

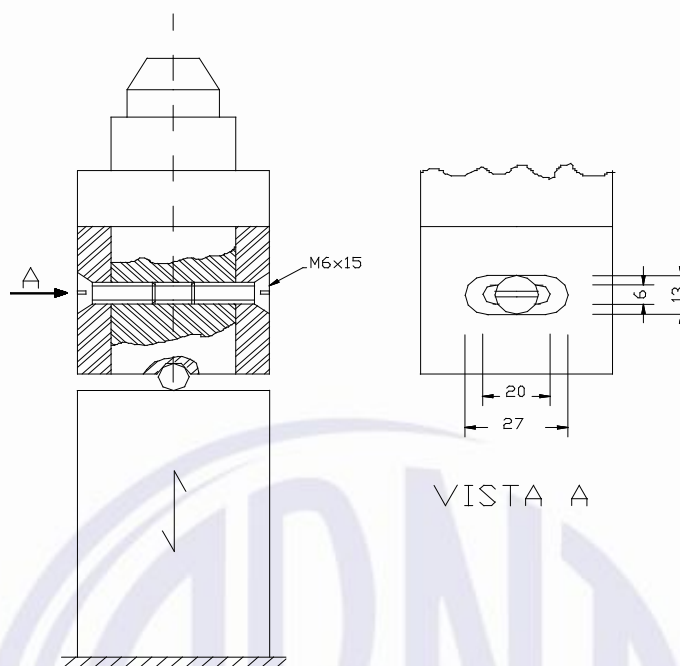


**Figura 20 – Corpo de prova para ensaio de dureza Janka**

### 5.11.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação da dureza pelo método Janka, as medidas dos lados dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- para aplicar o carregamento ao corpo de prova, deve-se utilizar um dispositivo especial entre o atuador e o corpo de prova, como indicado na Figura 21;
- o ensaio deve ser feito nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira;
- o carregamento deve ser monotônico crescente aplicado até que a esfera penetre a uma profundidade igual ao seu raio, em um período de pelo menos 1 min;
- para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente.



**Figura 21 – Arranjo de ensaio para determinação da dureza Janka**

## 5.12 Resistência ao impacto na flexão

### 5.12.1 Princípio

Determinação da resistência ao impacto na flexão da madeira de um lote considerado homogêneo, tendo como referência a máquina de ensaios indicada na Figura 22.

### 5.12.2 Condições gerais

A resistência ao impacto à flexão ( $f_{bw}$ ) é definida pela razão entre a energia necessária à fratura do corpo de prova ( $W$ ) e a área da seção transversal deste, expressa em quilo Joules por metro quadrado ( $\text{kJ/m}^2$ ), sendo calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{bw} = \frac{1000W}{bh}$$

onde

- $b$  dimensão da largura da seção transversal do corpo de prova, na direção radial e tangencial, expressas em milímetros (mm);
- $h$  dimensão da altura da seção transversal do corpo de prova, na direção radial e tangencial, expressas em milímetros (mm);
- $W$  é a energia necessária para a fratura do corpo de prova, expressa em Joules (J):

$$W = P.L(\cos\theta_a - \cos\theta_i)$$

onde

$W$  é a energia necessária para a fratura, expressa em Joules (J);

$\theta_i$  é o ângulo inicial, expresso em graus ( $^\circ$ ), obtido antes da ruptura do corpo de prova com o pêndulo solto;

$\theta_a$  é o ângulo final, expresso em graus ( $^\circ$ ), obtido após a ruptura do corpo de prova;

$L$  é a distância do centro de rotação do braço ao centro de gravidade do pêndulo, expressa em metros (m);

$P$  é o peso do pêndulo, expresso em Newtons (N).

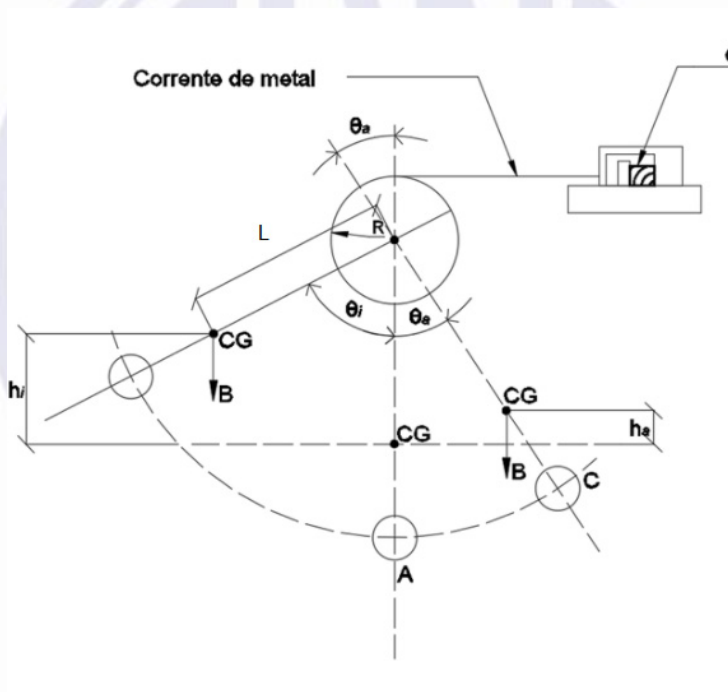
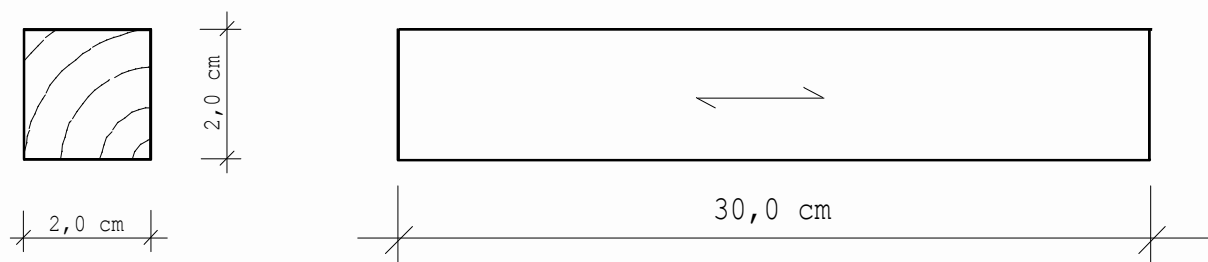


Figura 22 – Dispositivo para o ensaio de resistência ao impacto na flexão

### 5.12.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ter forma prismática de seção quadrada, com dimensões nominais de 2 cm de lado, e comprimento, ao longo das fibras, de 30 cm, conforme indicado na Figura 23.





**Figura 23 – Corpo de prova para ensaio de impacto na flexão**

O corpo de prova deve ser fabricado com os lados perpendiculares às direções preferenciais da madeira, não se admitindo inclinações das fibras superiores a  $6^\circ$  em relação ao comprimento do corpo de prova.

#### 5.12.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- para a determinação da resistência ao impacto na flexão, as medidas dos lados dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- para o ensaio de impacto à flexão, deve-se utilizar máquina de pêndulo com capacidade de 3 vezes a 5 vezes maior que a energia necessária à ruptura do corpo de prova por flexão;
- o ensaio deve ser feito para impacto nas direções radial e tangencial da madeira;
- o corpo de prova deve ser apoiado sobre dois apoios cilíndricos de 15 mm de raio, com  $24\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$  de distância entre os seus eixos;
- para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente.

### 5.13 Embutimento

#### 5.13.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação das resistências de embutimento, nas direções paralela e perpendicular às fibras, na madeira de um lote considerado homogêneo.

### 5.13.2 Condições gerais

A resistência de embutimento ( $f_e$ ) é definida pela razão entre a força  $F_e$  e a área de embutimento do pino  $A_e = t d$ , determinada no ensaio do corpo de prova mostrado na Figura 24 e calculado conforme a seguir:

$$f_{e0} = \frac{F_{e0}}{td}$$

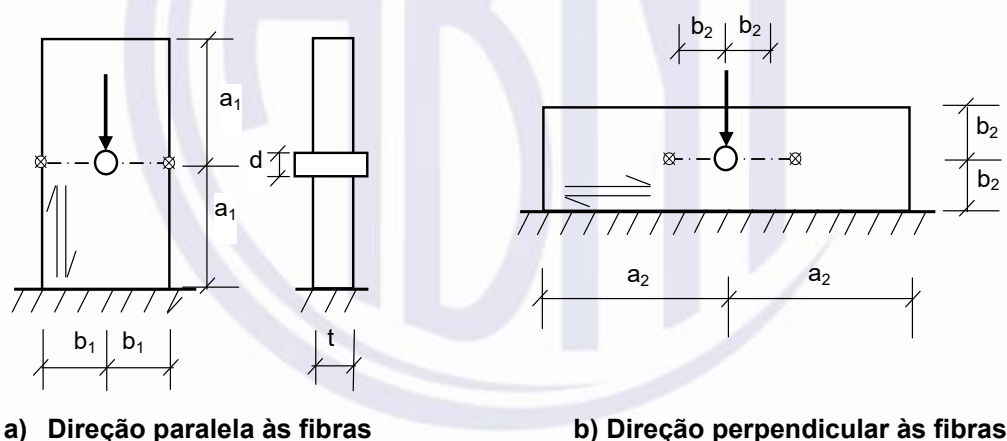
$$f_{e90} = \frac{F_{e90}}{td}$$

onde

$F_{e0}$  e  $F_{e90}$  são as forças aplicadas, respectivamente, nas direções paralela e perpendicular às fibras, correspondentes à força última ou à força que provoca deslizamento de 15 mm, expressas em Newtons (N);

$t$  é a espessura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$d$  é o diâmetro do pino, expresso em milímetros (mm).



#### Legenda

⊗ pontos de referência para a medição do deslocamento do pino

**Figura 24 – Corpos de prova para ensaio de embutimento perpendicular**

### 5.13.3 Preparação do corpo de prova

**5.13.3.1** O corpo de prova para a determinação da resistência de embutimento, em ambos os casos, deve ter forma prismática com espessura  $t = 2d$ . As outras dimensões são  $a_2$  e  $b_2$ , nas direções paralela e perpendicular às fibras, respectivamente. Os índices 1 e 2 dessas dimensões, apresentadas em 5.13.3.2, são referentes aos corpos de prova para determinação da resistência na direção paralela e na direção perpendicular às fibras, respectivamente, conforme Figura 24.

**5.13.3.2** Os valores de  $a$  e  $b$  são dados em função do diâmetro e do tipo do pino:

a) parafusos passantes:  $a_1 = 7d$ ;  $b_1 = 3d$ ;  $a_2 = 20d$ ;  $b_2 = 5d$ ;

- b) pregos (sem pré-furação):  $a_1 = 20d$ ;  $b_1 = 5d$ ;  $a_2 = 20d$ ;  $b_2 = 5d$ ;
- c) pregos (com pré-furação):  $a_1 = 12d$ ;  $b_1 = 5d$ ;  $a_2 = 20d$ ;  $b_2 = 5d$ .

#### 5.13.4 Procedimento

O procedimento de ensaio é o seguinte:

- a) para a determinação da resistência de embutimento, as medidas dos lados dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm;
- b) as medidas do deslocamento do pino devido ao seu embutimento na madeira devem ser feitas em relação aos pontos de referência mostrados na Figura 24, e considerando as duas faces do corpo de prova. Devem ser utilizados medidores de deslocamentos com precisão de 0,01 mm;
- c) inicialmente, deve ser estimada a resistência ( $f_{e,est}$ ) por meio do ensaio de um corpo de prova gêmeo, selecionado da mesma amostra a ser investigada. A resistência estimada  $f_{e0,est}$  deve ser dada pela força máxima obtida no ensaio ou pela força que causa o deslocamento do pino igual a 5 mm, caso ocorra antes;
- d) conhecida a resistência de embutimento estimada ( $f_{e,est}$ ) o carregamento deve ser aplicado em ciclos de carga e descarga, de acordo com o diagrama da Figura 7. O carregamento deve ser interrompido quando a força última for atingida ou quando o deslocamento do pino devido ao embutimento é 5 mm;
- e) abaixo de  $0,7 F_{est}$ , o carregamento deve ser realizado com velocidade de aplicação de força ou deslocamento constante, correspondente a  $0,2 F_{est}$  por minuto ( $\pm 25\%$ ). Acima de  $0,7 F_{est}$ , deve ser usada uma velocidade constante de deslocamento, ajustada de forma que a força última ou o deslocamento de 5 mm seja atingido em um tempo adicional de 3 min a 5 min (o tempo total do ensaio deve ser entre 8 min e 12 min, aproximadamente);
- f) os registros das forças e dos deslocamentos devem ser feitos para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na Figura 7;
- g) o teor de umidade e a densidade devem ser determinados para cada corpo de prova;
- h) para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas, devem ser utilizadas duas amostras, sendo uma com corpos de prova saturados e outra com corpos de prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente.

## Anexo A (informativo)

### Valores de classes de resistência para madeiras nativas

A Tabela A.1 apresenta os valores de classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil.

**Tabela A.1 – Classes de resistência para espécies de madeiras nativas do Brasil (continua)**

Classe de Resistência	Nome popular	Nome científico
D20	Amescla	<i>Trattinnickia burserifolia</i>
D20	Caixeta	<i>Simarouba amara</i>
D20	Cajueiro	<i>Anacardium sp.</i>
D20	Cambará Rosa	<i>Erismia sp.</i>
D20	Cedro Doce	<i>Cedrela sp.</i>
D20	Cedro Amargo	<i>Cedrela odorata</i>
D20	Cedrinho	<i>Erismia sp.</i>
D20	Cedroarana	<i>Cedrelinga catanaeformis</i>
D20	Marupá	<i>Simarouba sp.</i>
D30	Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i>
D30	Cedro Amazonense	<i>Cedrela sp.</i>
D30	Embireira	<i>Guatteria sp.</i>
D30	Quarubarana	<i>Erismia uncinatum</i>
D30	Tauari	<i>Couratari sp.</i>
D30	Umirana	<i>Qualea retusa</i>
D40	Abiú	<i>Pouteria sp.</i>
D40	Angelim Amargoso	<i>Vatairea fusca</i>
D40	Angelim Araroba	<i>Vataireopsis araroba</i>
D40	Angico Branco	<i>Anaderanthera colubrina</i>
D40	Bicuíba	<i>Micropholis sp.</i>
D40	Branquilha	<i>Sebastiania commersoniana</i>
D40	Cafearana	<i>Andira stipulacea</i>
D40	Canafístula	<i>Cassia ferruginea</i>
D40	Canela Parda	<i>Ocotea sp.</i>

Tabela A.1 (continuação)

Classe de Resistência	Nome popular	Nome científico
D40	Canelão	<i>Ocotea sp.</i>
D40	Catanudo	<i>Micropholis sp.</i>
D40	Copaíba	<i>Copaifera sp.</i>
D40	Cupiúba	<i>Goupia glabra</i>
D40	Goiabão	<i>Planchonella pachycarpa</i>
D40	Louro Verde	<i>Ocotea sp.</i>
D40	Mirarema	<i>Hymenolobium sp.</i>
D40	Quaruba Rosinha	<i>Vochysia sp.</i>
D40	Rabo de Arraia	<i>Vochysia haenkeana</i>
D50	Angelim Pedra	<i>Hymenolobium paetrum</i>
D50	Angelim Saia	<i>Vatairea sp.</i>
D50	Casca Grossa	<i>Pouteria pachycarpa</i>
D50	Castelo	<i>Calycophyllum sp.</i>
D50	Envira	<i>Xylopia sp.</i>
D50	Envira Branca	<i>Xylopia nãtida</i>
D50	Garrote	<i>Bagassa sp.</i>
D50	Louro Preto	<i>Ocotea sp.</i>
D50	Mirarema	<i>Hymenolobium sp.</i>
D50	Parinari	<i>Parinari excelsa</i>
D50	Peroba Mica	<i>Aspidosperma sp.</i>
D50	Piolho	<i>Tapirira sp.</i>
D50	Quina Rosa	<i>Chinchona sp.</i>
D60	Angelim Ferro	<i>Hymenolobium sp.</i>
D60	Angelim Vermelho	<i>Dinizia excelsa</i>
D60	Angico Preto	<i>Anaderanthera macrocarpa</i>
D60	Breu Vermelho	<i>Protium sp.</i>
D60	Champanhe	<i>Dipteryx odorata</i>
D60	Cutiúba	<i>Qualea paraensis</i>
D60	Garapa	<i>Bagassa guianensis</i>
D60	Guaíçara	<i>Luetzelburgia sp.</i>
D60	Guajará	<i>Micropholis venulosa</i>

Tabela A.1 (conclusão)

Classe de Resistência	Nome popular	Nome científico
D60	Guanandi	<i>Callophyllum brasiliense</i>
D60	Guaruaia	<i>Peltophorum vogelianum</i>
D60	Ipê	<i>Tabebuia serratifolia</i>
D60	Itaúba	<i>Mezilaurus itaúba</i>
D60	Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i>
D60	Maçaranduba	<i>Manilkara sp.</i>
D60	Mandioqueira C60	<i>Qualea paraensis</i>
D60	Oiticica Amarela	<i>Clarisia racemosa</i>
D60	Oiuchu	<i>Pradosia sp.</i>
D60	Roxinho	<i>Peltogyne leicointei</i>
D60	Sucupira	<i>Bowdichia sp.</i>
D60	Tachi	<i>Tachigali mirmecophylla</i>
D60	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i>
D60	Umirana	<i>Qualea retusa</i>

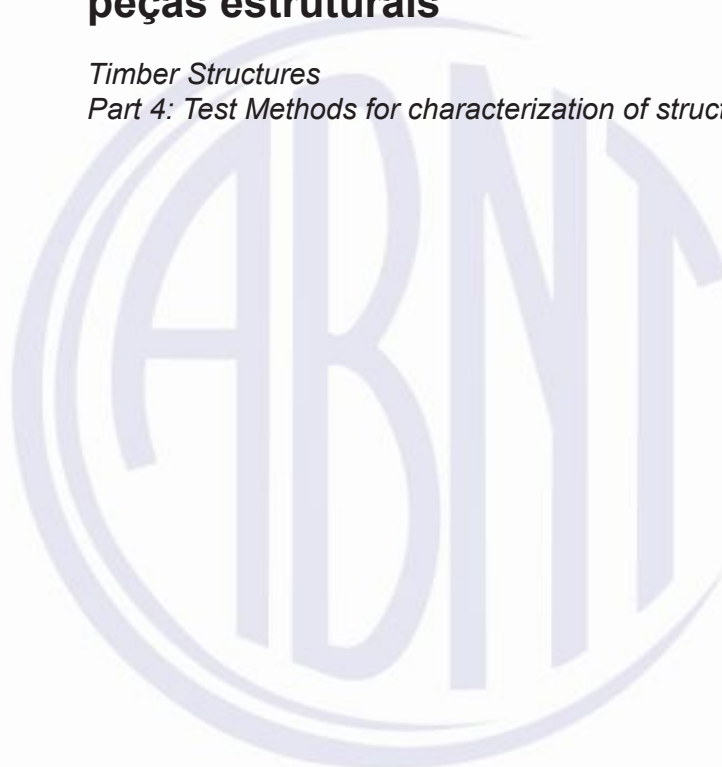


---

**Projeto de estruturas de madeira**  
**Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização**  
**peças estruturais**

*Timber Structures*

*Part 4: Test Methods for characterization of structural lumber*



ICS 91.080.20

ISBN 978-85-07-09147-9



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 7190-4:2022  
19 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

## Sumário

Página

Prefácio .....	v
1 Escopo .....	1
2 Referência normativa .....	1
3 Termos e definições .....	1
4 Símbolos e unidades .....	2
4.1 Letras romanas maiúsculas .....	2
4.2 Letras romanas minúsculas .....	2
4.3 Letras gregas .....	3
4.4 Subscritos .....	3
5 Amostragem .....	3
6 Corpos de prova .....	4
7 Condições de ensaio .....	4
8 Configurações de ensaio .....	5
8.1 Densidade .....	5
8.2 Resistência e rigidez à flexão .....	5
8.3 Tração paralela às fibras .....	6
8.4 Compressão paralela às fibras .....	7
8.5 Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras .....	8
8.6 Resistência à tração perpendicular às fibras .....	8
8.7 Resistência e rigidez à compressão perpendicular às fibras .....	9
8.8 Módulo de Elasticidade Transversal .....	11
9 Avaliação de valores característicos das propriedades .....	12
9.1 Ajuste para condições de ensaio não padrão .....	12
9.2 Tratamento estatístico .....	13
9.2.1 Geral .....	13
9.2.2 Valores característicos de resistência .....	13
9.2.3 Os valores das características de rigidez .....	15
10 Propriedades de resistência para projeto .....	15
11 Relatório de ensaio .....	15
Anexo A (informativo) Operações estatísticas .....	16
A.1 Procedimento não paramétrico .....	16
A.2 Procedimento de ajuste da cauda a uma distribuição de <i>Weibull</i> .....	16
A.3 Estimativas dos limites superior e inferior da distribuição de probabilidade .....	16
Bibliografia .....	19

## Figuras

Figura 1 – Esquema para o ensaio de flexão .....	5
Figura 2 – Esquema para o ensaio de resistência à tração paralela às fibras .....	6
Figura 3 – Esquema para o ensaio de resistência à compressão paralela às fibras .....	7
Figura 4 – Esquema para o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras .....	8
Figura 5 – Esquema para o ensaio de resistência à tração perpendicular às fibras .....	9

Figura 6 – Configuração para determinação da resistência e rigidez normal às fibras .....	10
Figura 7 – Esquema de ensaio para medir a rigidez em torção.....	12
Figura 8 – Estimativa dos limites inferior e superior, com base em dados do ensaio de amostra, com nível de significância de 5 % .....	14
Figura A.1 – Lote de dados da Tabela A.1 .....	18
Tabela	
Tabela A.1 – Exemplo de dados de ensaio de tração.....	17



## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 7190-4 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (CE-002:126.010). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 12, de 21.12.2021 a 20.02.2022.

Esta Norma circulou na Consulta Nacional com a numeração ABNT NBR 17022. Por consenso, a CE-002.126.010 decidiu pela manutenção da numeração original para facilitar a associação ao número, e o documento foi publicado como ABNT NBR 7190-4.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 7190-4 é o seguinte:

## Scope

*This Standard specifies testing and sampling methods for characterizing of structural saw timber.*





## Projeto de estruturas de madeira

### Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais

#### 1 Escopo

Esta Norma especifica os métodos de ensaio e amostragem para caracterização de peças estruturais de madeira serrada.

#### 2 Referência normativa

O documento a seguir é citado no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 7190-1, *Projeto de estruturas de madeira – Parte 1: Critérios de dimensionamento*

#### 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

##### 3.1

##### **classe**

população de peças de madeira com valores característicos definidos

##### 3.2

##### **corpo de prova**

amostra de madeira, cortada a partir de uma peça, para fins de ensaio de avaliação de uma propriedade da madeira

##### 3.3

##### **peças estruturais**

peça de seção retangular produzida para fins de construção

##### 3.4

##### **largura da seção transversal b**

menor dimensão perpendicular ao eixo longitudinal de uma peça de madeira

##### 3.5

##### **altura da seção transversal h**

maior dimensão perpendicular ao eixo longitudinal de uma peça de madeira

##### 3.6

##### **população de madeira classificada**

todas as peças estruturais avaliadas que são definidas por parâmetros como origem, espécie, dimensão e classe

### 3.7

#### **população de referência**

população de uma determinada classe de resistência

### 3.8

#### **tamanho da amostra**

número de peças ou espécimes selecionados de uma população específica

### 3.9

#### **valor característico**

percentil de uma distribuição estatística estimada com um grau de precisão especificado

NOTA Os valores característicos são utilizados como uma estimativa de 5 % da distribuição.

## 4 Símbolos e unidades

### 4.1 Letras romanas maiúsculas

*CV* coeficiente de variação

*E* módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>)

*F* força aplicada (N)

*G* módulo de elasticidade transversal (N/mm<sup>2</sup>)

*K* rigidez das fibras (MPa/mm)

*L* comprimento do corpo de prova de madeira (mm)

*L<sub>t</sub>* comprimento de corpo de prova solicitado à torção (mm)

*L<sub>h</sub>* comprimento de parte extraída de uma peça de madeira para ensaio de tração normal (mm)

*N* tamanho da amostra

*U* teor de umidade da madeira

### 4.2 Letras romanas minúsculas

*b* largura de uma peça de seção retangular ou espécime de madeira (mm)

*h* altura de uma peça de seção retangular ou espécimes de madeira (mm)

*e* deslocamento de uma viga (mm)

*f* resistência (N/mm<sup>2</sup>)

*l<sub>t</sub>* braço de alavanca da força aplicada que provoca torção (mm)

*m* massa de um corpo de prova (kg)

*p* percentil

*x<sub>i</sub>* valor de dado *i*.

### 4.3 Letras gregas

$\theta$	ângulo de torção (rad)
$\rho$	densidade da madeira ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho_{12}$	densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ ), com 12 % do teor de umidade
$\rho_{\text{test}}$	densidade aparente ( $\text{kg/m}^3$ ), no momento do ensaio

### 4.4 Subscritos

0,1 h	valor para o deslocamento de 0,1 h
0,05	valor de 5-percentil
0	propriedade na direção de 0° em relação às fibras
90	propriedade na direção de 90° em relação às fibras
c	compressão
data	propriedade estatística dos dados
k	valor característico
inf	limite inferior de um valor característico
m	flexão
med	valor médio
<i>standard</i>	valor-padrão
t	tração
<i>test</i>	valor de ensaio
<i>tail</i>	propriedade relacionada com a cauda de uma distribuição estatística
sup	limite superior de um valor característico
<i>rupt</i>	valor na ruptura
v	cisalhamento
y	valor para um “y” específico no gráfico

## 5 Amostragem

Os parâmetros que definem a população de referência são definidos de forma abrangente em termos de espécies e outros fatores, como origem, dimensão, classe e método de classificação.

Todos os corpos de prova devem ser cortados a partir de peças que foram selecionadas para representar uma população de referência. A representação da população de referência pode ser obtida por meio da seleção aleatória de peças. No entanto, a melhor representação pode ser obtida se todos os parâmetros populacionais, como a proporção de peças produzidas por cada talhão, forem replicados na amostra selecionada para o ensaio.

A amostra mínima de 40 peças deve ser utilizada para cada série, ou dimensão, ou propriedade a ser avaliada. Um tamanho de amostra maior do que 40 peças é recomendado de modo a proporcionar valores característicos mais confiáveis para a resistência, sem a introdução de um fator de correção como relacionados ao tamanho da amostra.

## 6 Corpos de prova

Todos os corpos de prova são de seção transversal de dimensões estruturais. O comprimento necessário para um corpo de prova está relacionado ao ensaio específico (ver Seção 8).

Os corpos de prova devem ser retirados de posições aleatórias da peça de madeira. Quando necessário, os corpos de prova podem ser cortados em posições predefinidas (centro de um elemento de madeira, uma extremidade selecionada aleatoriamente dentro de uma peça ou seções isentas de defeitos etc.), sendo considerados em conformidade com este requisito, desde que não produzam qualquer resultado tendencioso nas propriedades medidas.

Cada corpo de prova, para uma determinada dimensão ou classe ou propriedade, deve ser retirado de uma peça diferente de madeira e mais de um tipo de corpo de prova pode ser retirado a partir dessa peça.

Conforme especificado na Seção 5, o tamanho mínimo da amostra (40 peças) deve ser utilizado para cada série, dimensão e propriedade.

## 7 Condições de ensaio

O teor de umidade de referência, no momento do ensaio, deve ser consistente com o condicionamento em uma temperatura de 20 °C e 65 % de umidade relativa. Outros procedimentos de ensaios e critérios de condicionamento podem ser utilizados, desde que sejam mais conservadores; caso contrário, uma equivalência de desempenho para estes procedimentos e condições alternativas deve ser estabelecida.

Para a temperatura e umidade condicionadas de referência, a umidade de equilíbrio da madeira deve ser de aproximadamente 12 %.

A temperatura de referência no momento do ensaio deve ser de 20 °C.

A taxa de carregamento deve ser aplicada de modo que ocorra a ruptura do elemento entre 1 min e 5 min.

No momento do ensaio, o teor de umidade da madeira, a temperatura da madeira, e o tempo até a ruptura devem ser registrados.

## 8 Configurações de ensaio

### 8.1 Densidade

Os corpos de prova para a determinação da densidade devem compreender toda a seção transversal do elemento de madeira. O comprimento do corpo de prova não pode ser menor que a largura ( $b$ ). A massa ( $m$ ) e o teor de umidade ( $U$ ) são determinados para cada amostra. A densidade no momento do ensaio ( $\rho_{\text{test}}$ ) é calculada conforme a seguinte equação com medidas em mm:

$$\rho_{\text{test}} = \frac{m \times 10^9}{L \cdot b \cdot h}$$

A densidade a 12 % de umidade ( $\rho_{12}$ ) é calculada conforme a seguinte equação:

$$\rho_{12} = \rho_{\text{test}} (1 - 0,5(U - 0,12))$$

onde

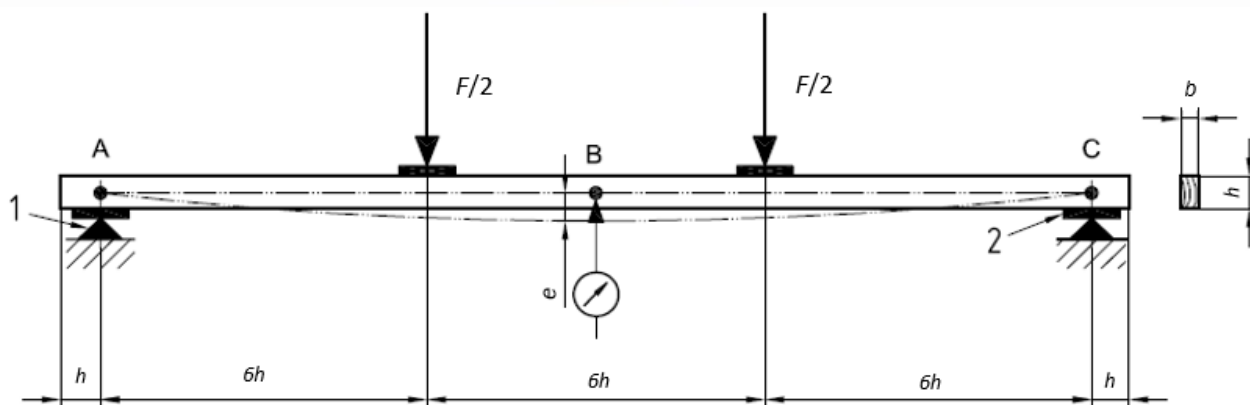
$U$  é o teor de umidade no momento do ensaio, como determinado pelo método de secagem na estufa.

Alternativamente, pode ser suficiente medir o teor de umidade por meio de um medidor elétrico, desde que o medidor esteja calibrado. Quando for usado o medidor elétrico para as medições de teor de umidade, estas devem ser feitas em dois ou três locais ao longo de cada corpo de prova.

### 8.2 Resistência e rigidez à flexão

A configuração do ensaio de resistência e rigidez à flexão deve ser conforme a Figura 1. Uma viga de vão de 18 h deve receber carregamento em dois pontos, espaçados igualmente entre os apoios nas extremidades, com cada força igual a  $F/2$ .

A face tracionada da viga deve ser definida aleatoriamente. Para evitar a instabilidade lateral durante o carregamento, devem ser criados vínculos que restrinjam deslocamentos laterais para conter esse efeito. Estes vínculos não podem proporcionar qualquer resistência ao deslocamento na direção do carregamento.



#### Legenda

- 1 apoio articulado
- 2 placa de suporte

**Figura 1 – Esquema para o ensaio de flexão**

O módulo de elasticidade na flexão ( $E_0$ ) deve ser determinado por meio da medição do deslocamento ( $e$ ), no ponto central B da reta que une os pontos A e C, localizados nos centros das seções transversais sobre os apoios, conforme a Figura 1.

Quando isto não for possível, é aceitável a alternativa conservadora, que consiste em medir o deslocamento vertical do ponto central da superfície inferior da viga em relação aos apoios na extremidade da viga. A força  $F$  aplicada deve ser aumentada até que ocorra uma falha.

Para avaliar o módulo de elasticidade na flexão ( $E_0$ ), o deslocamento incremental ( $\Delta e$ ) correspondente a uma força incremental ( $\Delta F$ ) deve ser selecionado no trecho da fase elástico-linear do gráfico força x deslocamento. O módulo de elasticidade na flexão ( $E_0$ ) é calculado pela seguinte equação:

$$E_0 = \frac{23}{108} \left( \frac{L}{h} \right)^3 \left( \frac{\Delta F}{\Delta e} \right) \frac{1}{b}$$

O intervalo de 10 % a 40 % da força máxima deve ser utilizado para determinar  $\Delta F/\Delta e$ . O módulo de elasticidade na flexão ( $E_0$ ) pode ser avaliado por meio da medição do movimento de pontos diferentes dos descritos anteriormente, desde que uma equivalência aceitável para estes procedimentos seja estabelecida. A resistência convencional à flexão ( $f_m$ ) deve ser calculada a partir de:

$$f_m = \frac{F_{rupt} L}{bh^2}$$

onde

$F_{rupt}$  é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

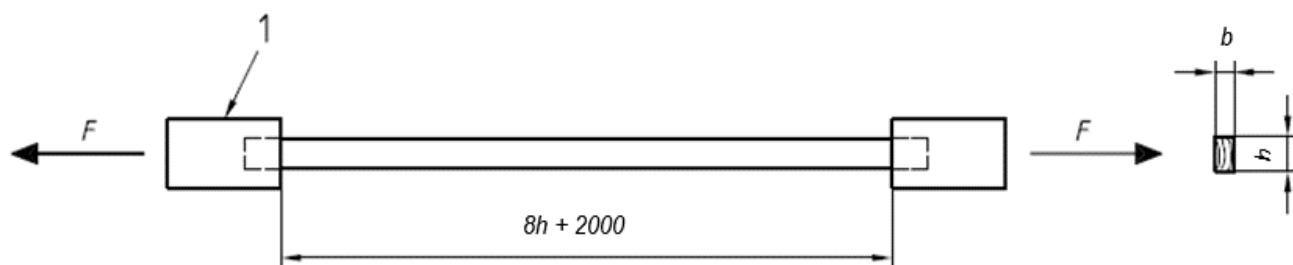
$L$  é o vão livre entre apoios, igual a  $18h$ ;

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova;

$h$  é a altura da seção transversal do corpo de prova.

### 8.3 Tração paralela às fibras

Para o caso da determinação da resistência à tração paralela às fibras, a configuração do ensaio deve ser baseada na Figura 2. O comprimento do corpo de prova entre “pegas” deve ser de  $8h + 2\,000$  mm. A força deve ser aplicada até a ruptura da amostra.



#### Legenda

1 pegas de tração

**Figura 2 – Esquema para o ensaio de resistência à tração paralela às fibras**



A resistência à tração paralela às fibras ( $f_{t,0}$ ) é calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{t,0} = \frac{F_{\text{rupt}}}{bh}$$

onde

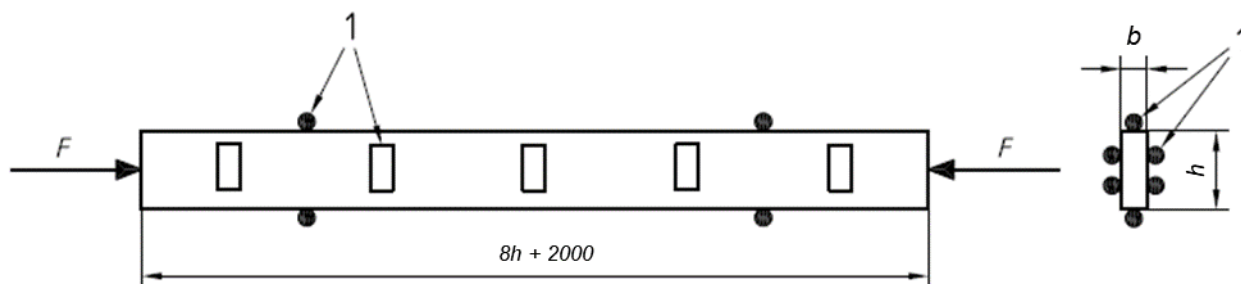
$F_{\text{rupt}}$  é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova;

$h$  é a altura da seção transversal do corpo de prova.

#### 8.4 Compressão paralela às fibras

Na resistência à compressão paralela às fibras, a configuração de ensaio deve ser realizada conforme a Figura 3. O comprimento do corpo de prova deve ser de  $8h + 2\,000$  mm. A compressão deve ser aplicada axialmente por uma força ( $F$ ) até a ruptura. A estabilidade lateral do corpo de prova deve ser assegurada espaçando vínculos contra deslocamentos transversais, com espaçamento entre eles não superiores a  $10b$ . Os vínculos transversais não podem fornecer qualquer resistência na direção do carregamento.



##### Legenda

1 elementos de travamento lateral

**Figura 3 – Esquema para o ensaio de resistência à compressão paralela às fibras**

A resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c,0}$ ) é calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{c,0} = \frac{F_{\text{rupt}}}{bh}$$

onde

$F_{\text{rupt}}$  é o valor da força última de ruptura (correspondente à força última);

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova;

$h$  é a altura da seção transversal do corpo de prova.

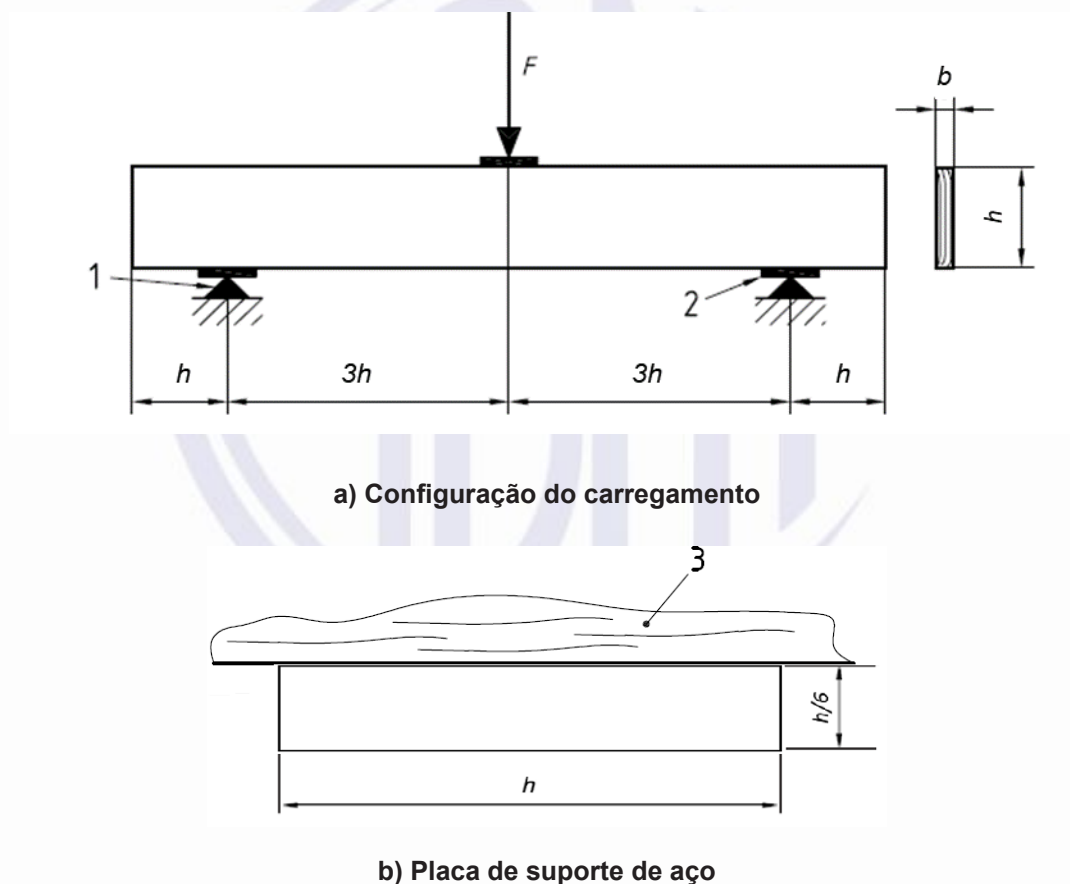
Um processo alternativo pode ser utilizado. O corpo de prova original pode ser cortado em corpos de prova mais curtos, não superiores a  $6b$ , desde que nenhum corte seja feito passando por um defeito natural importante. Cada um destes corpos de prova é carregado até a ruptura na compressão. O valor da força última será igual ao menor valor encontrado entre os resultados dos ensaios realizados com os corpos de prova mais curtos, obtidos a partir do corpo de prova original.

## 8.5 Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

A configuração do ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras deve ser conforme mostrada na Figura 4-a). A força  $F$  é aumentada até  $F_{rupt}$ , valor no qual ocorre a ruptura no corpo de prova. A resistência ao cisalhamento ( $f_v$ ) deve ser calculada a partir de:

$$f_v = \frac{0,75F_{rupt}}{bh}$$

Algumas vigas podem apresentar outros modos de rupturas que não o de cisalhamento. No entanto, todos os resultados do ensaio devem ser utilizados para avaliar a propriedade de resistência ao cisalhamento. A equação anterior fornece o valor nominal da resistência ao cisalhamento de uma viga, dando uma descrição normalizada da capacidade da viga.



### Legenda

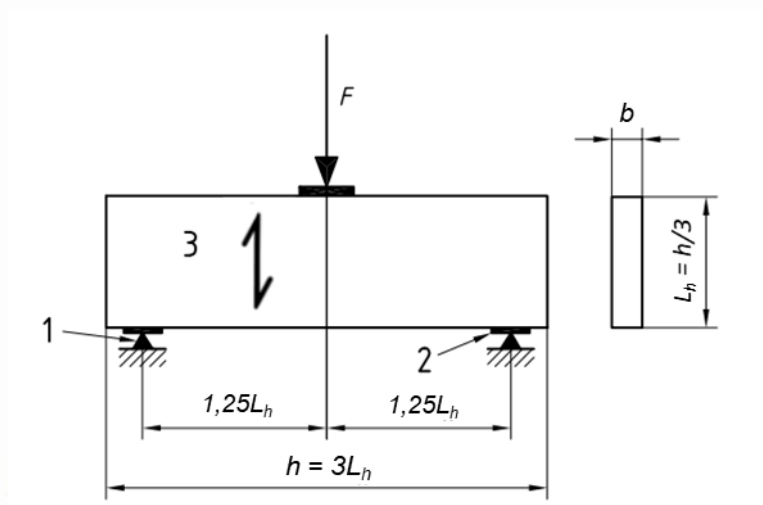
- 1 apoio articulado
- 2 placa de suporte
- 3 madeira

**Figura 4 – Esquema para o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras**

## 8.6 Resistência à tração perpendicular às fibras

A configuração para o ensaio de tração perpendicular às fibras é mostrada na Figura 5. O corpo de prova para a determinação da tração perpendicular às fibras deve compreender toda a seção transversal

do elemento de madeira. O comprimento ( $L_h$ ) do corpo de prova deve ser igual a  $h/3$ . O corpo de prova deve ser carregado no ponto central, conforme a Figura 5.



#### Legenda

- 1 apoio articulado
- 2 placa de suporte
- 3 direção das fibras da madeira

**Figura 5 – Esquema para o ensaio de resistência à tração perpendicular às fibras**

A resistência à tração perpendicular às fibras ( $f_{t,90}$ ) é calculada a partir de:

$$f_{t,90} = \left( \frac{3,75 F_{rupt}}{bh} \right) \left( \frac{0,03 b L_h^2}{800^3} \right)^{0,2}$$

onde

$F_{rupt}$  é o valor da força de ruptura aplicada (força última);

$L_h$  é a altura da seção transversal do corpo de prova;

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova;

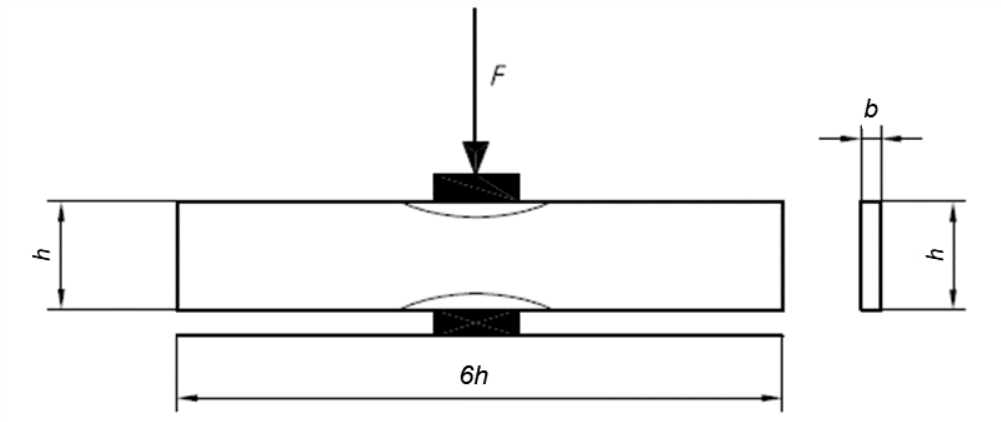
$h$  é o comprimento do corpo de prova

**NOTA** O fator  $[(0,03 b L_h^2)/800^3]^{0,2}$  normaliza a resistência à tração para o valor equivalente a um cubo de madeira de lado igual a 800 mm.

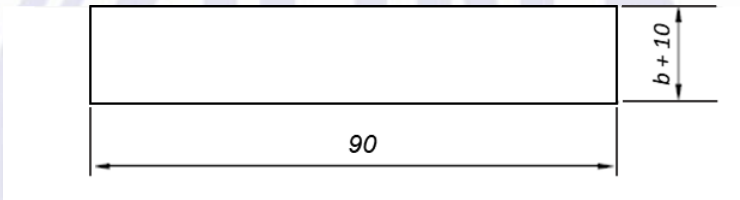
## 8.7 Resistência e rigidez à compressão perpendicular às fibras

A configuração do ensaio para a determinação da resistência e rigidez à compressão perpendicular às fibras deve ser como mostrada na Figura 6-a). A força ( $F$ ) deve ser aplicada por meio de um par de placas de aço de 90 mm de comprimento e espessura igual a  $b + 10$  mm (ver Figura 6-b)). O atuador da máquina de ensaio deve ser fixado contra rotação. Durante o carregamento, um gráfico de força *versus* deslocamento deve ser gerado (ver Figura 6-c)), e os corpos de prova devem ser carregados até a ruptura ou até um deslocamento de  $0,1 h$ , o que ocorrer primeiro. Caso o corpo de prova tenha uma esbeltez que possa ocasionar instabilidade lateral durante o carregamento, devem ser criados

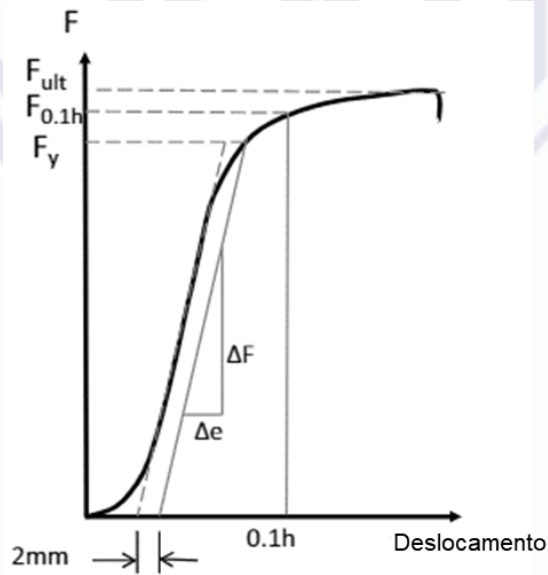
vínculos que restrinjam deslocamentos transversais para conter esse efeito. Estes vínculos não podem proporcionar qualquer resistência ao deslocamento na direção do carregamento.



a) Configuração do carregamento



b) Dimensões da placa de suporte de aço (atuador)



c) Anotação para o gráfico de força *versus* deslocamento.

**Legenda**

- X deslocamentos, expressos em milímetros
- Y força aplicada, expressa em newtons

**Figura 6 – Configuração para determinação da resistência e rigidez normal às fibras**

A resistência à compressão perpendicular às fibras ( $f_{c,90}$ ) deve ser calculada pela equação:

$$f_{c,90} = \frac{F_{rupt}}{90b} \text{ ou } f_{c,90} = \frac{F_{0,1h}}{90b}$$

onde

$F_{rupt}$  é o valor da força de ruptura (força última);

$F_{0,1h}$  é a força correspondente a um deslocamento de 0,1  $h$ ;

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova;

$h$  é a altura da seção transversal do corpo de prova.

O limite de plastificação ( $f_{c,90y}$ ), é calculado conforme a seguinte equação:

$$f_{c,90y} = \frac{F_y}{90b}$$

onde

$F_y$  é a força obtida pela interseção da curva do gráfico com uma reta paralela à inclinação da reta do gráfico correspondente à fase elástica, deslocada em 2 mm (ver Figura 6-c));

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova.

A rigidez à compressão perpendicular às fibras ( $K_{c,90}$ ) deve ser calculada pela equação:

$$K_{c,90} = \frac{(\Delta F / \Delta e)}{90b}$$

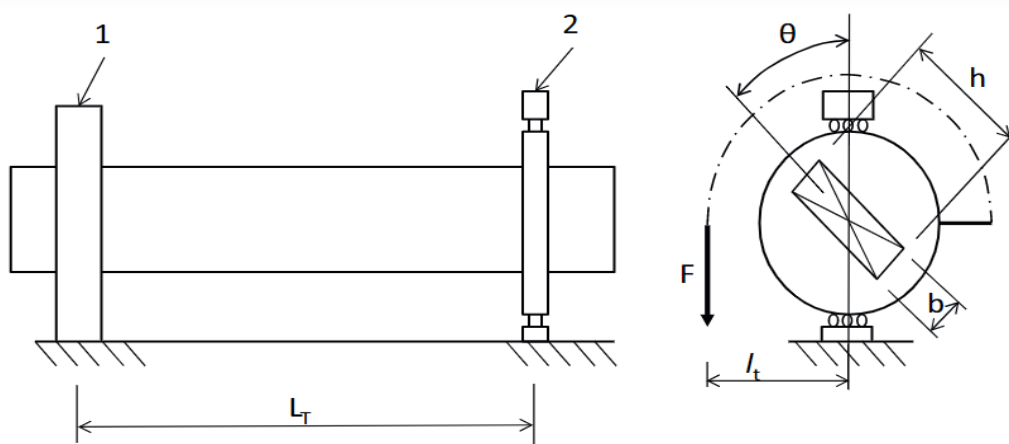
onde

$\Delta F / \Delta e$  é a inclinação da fase elástica do gráfico de força-deslocamento;

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova.

## 8.8 Módulo de Elasticidade Transversal

A configuração do ensaio de torção deve seguir o modelo mostrado na Figura 7.



### Legenda

1 extremidade engastada

2 plano de torque

Comprimentos necessários:

Corpo de prova ( $L_T$ ) = 18 b

Braço de alavanca ( $l_t$ ) = 500 mm

**Figura 7 – Esquema de ensaio para medir a rigidez em torção**

A amostra de ensaio tem um comprimento ( $L_T$ ) entre a extremidade engastada e o plano de torque. O momento deve ser aplicado por meio de uma força  $F$ , utilizando um braço de alavanca de comprimento  $l_t$ . O módulo de elasticidade transversal ( $G_{t,0}$ ) deve ser calculado pela seguinte equação:

$$G_{t,0} = \frac{3L_T l_t}{hb^3 [1 - 0,63(b/h)]} (\Delta F / \Delta \theta)$$

onde

$\Delta F / \Delta \theta$  é a inclinação do gráfico de força-deslocamento;

$\theta$  é o ângulo de torção;

$b$  é a largura da seção transversal do corpo de prova;

$h$  é a altura da seção transversal do corpo de prova.

## 9 Avaliação de valores característicos das propriedades

### 9.1 Ajuste para condições de ensaio não padrão

Quando necessário, pode-se utilizar fatores de ajuste para qualquer propriedade, baseados em técnicas adequadas disponíveis para cada ensaio.

Para madeiras ensaiadas em um teor de umidade, temperatura e tempo de ruptura maior do que as condições de referência, não é necessário aplicar um fator de correção.



Para amostras com um teor de umidade médio no intervalo de 10 % a 20 %, os seguintes percentuais de redução podem ser utilizados, diminuindo-se o valor da propriedade, para ganhos de teor de umidade, ou vice-versa:

- a) para resistência à flexão e à tração, nenhum ajuste;
- b) para a resistência à compressão paralela às fibras, uma redução de 3 % para cada ponto percentual de ganho de teor de umidade; e/ou
- c) para os módulos de elasticidade longitudinal e transversal, uma redução de 2 % para cada ponto percentual de ganho de teor de umidade;
- d) para outras propriedades, como resistência ao cisalhamento, à tração e à compressão perpendicular às fibras, procedimentos tecnicamente fundamentados com base em ensaios de corpos de prova isentos de defeitos devem ser utilizados.

Se as taxas de carregamento utilizadas forem mais rápidas do que o valor de referência, ajustes adequados, com base em informações prévias, devem ser aplicados às medições de resistência e rigidez.

Para ensaios de tração, em que o comprimento dos corpos de prova ( $L_{\text{test}}$ ) for menor do que o comprimento-padrão ( $L_{\text{standard}}$ ) requerido, conforme especificado em 8.3, a resistência característica medida é reduzida pelo fator  $(L_{\text{test}}/L_{\text{standard}})^{CV_t}$ , onde  $CV_t$  é o coeficiente de variação da resistência à tração.

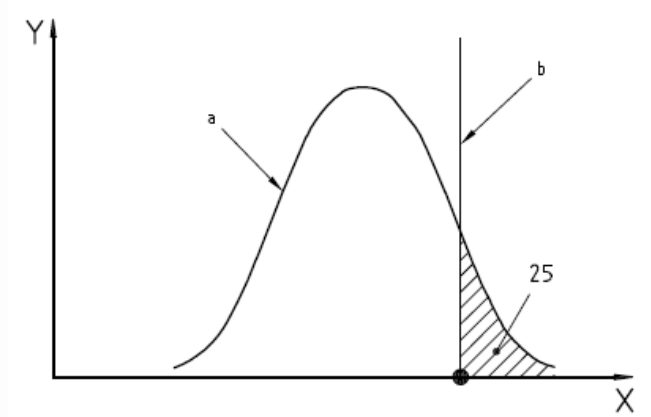
## 9.2 Tratamento estatístico

### 9.2.1 Geral

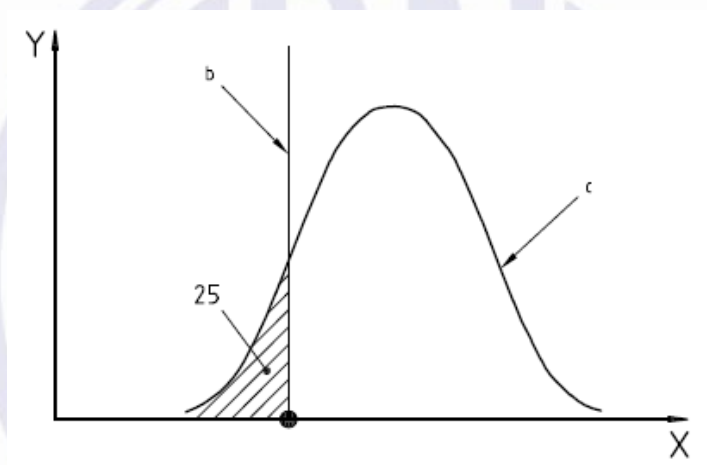
A seguir, são apresentados os princípios para a derivação de valores característicos. Alguns métodos estatísticos para realizar esse procedimento estão apresentados no Anexo A.

### 9.2.2 Valores característicos de resistência

Valores característicos de resistência  $f_k$  estão relacionados a uma estimativa do valor de 5-percentil. As estimativas são tomadas como o limite inferior ( $f_{\text{data}, 0,05, \text{inf}}$ ), o que deve ser uma estimativa com 25 % de chance de ser maior do que o valor verdadeiro do 5-percentil da população de referência (ver Figura 8-a)).



a) Estimativa do limite inferior



b) Estimativa do limite superior

### Legenda

X resistência

Y frequência

a  $f_{0,05 \text{ inf}}$  – estimativa do limite inferior de 5 %

b verdadeiro 5 % de população de referência

c  $f_{0,05 \text{ sup}}$  – estimativa do limite superior de 5 %

**Figura 8 – Estimativa dos limites inferior e superior, com base em dados do ensaio de amostra, com nível de significância de 5 %**

Se o valor característico for baseado em dados de uma única dimensão, então  $f_k$  é calculado pela equação:

$$f_k = f_{\text{data},0,05,\text{inf}}$$

onde

$f_k$  é o valor característico para essa dimensão.

Métodos computacionais para determinar ( $f_{\text{data},0,05,\text{inf}}$ ) podem ser calculados conforme o Anexo A.

### 9.2.3 Os valores das características de rigidez

Os valores que caracterizam a rigidez são os valores médios e os valores de 5-percentil dos dados de ensaio.

EXEMPLO Os valores  $E_{K1}$  e  $E_{K2}$  do módulo de elasticidade ( $E$ ) são dados por:  $E_{K1} = E_{data,med}$ ;  $E_{K2} = E_{data, 0,05}$ , onde  $E_{data,med}$  e  $E_{data, 0,05}$  são o valor médio e o valor do 5-percentil dos dados medidos de  $E$ .

## 10 Propriedades de resistência para projeto

Os valores das propriedades de resistência para projeto (valores de cálculo) são baseados nos valores característicos obtidos, considerando outros aspectos como o coeficiente de variação das propriedades e o comportamento relacionado à ruptura, conforme ABNT NBR 7190-1.

## 11 Relatório de ensaio

O relatório de ensaio deve incluir as seguintes informações:

- a) referência a esta Norma;
- b) nome do laboratório, autoridade ou organização que realizou o ensaio;
- c) justificativa do plano de amostragem e uma descrição dos procedimentos;
- d) definição da população de referência, incluindo:
  - origem de madeira;
  - espécies;
  - método de classificação;
  - dimensão;
  - classe;
  - teor de umidade, e
  - outros fatores, conforme o caso;
- e) dimensões de peças de madeira de onde corpos de prova foram cortados;
- f) configurações de ensaio, incluindo dimensões de corpos de prova;
- g) variações das condições de ensaio de referência especificadas na Seção 7;
- h) dados de ensaio e intervalo de força utilizada para calcular o módulo de elasticidade;
- i) estimativas de médias, os coeficientes de variação e os valores de 5-percentil;
- j) valores característicos de resistência e de módulo de elasticidade;

O relatório de avaliação pode incluir qualquer informação adicional considerada importante.

## Anexo A (informativo)

### Operações estatísticas

#### A.1 Procedimento não paramétrico

Se os dados medidos de uma propriedade forem classificados em ordem crescente de magnitude, o  $i$ -ésimo elemento pode ser assumido como sendo o percentil  $p_i$  dado pela:

$$p_i = \frac{(i - 0,5)}{N}$$

onde

$N$  é o tamanho da amostra.

Para percentis intermediários, a propriedade pode ser obtida por interpolação direta entre os valores para os dois percentis vizinhos.

#### A.2 Procedimento de ajuste da cauda a uma distribuição de *Weibull*

Os dados devem ser classificados em ordem crescente  $x_1, x_2, x_3, \dots$  e os  $p$ -percentis  $p_1, p_2, p_3 \dots$  são avaliados como na equação da Seção A.1.

Para o ajuste da cauda, os 15 valores menores, ou os 15 % menores (o que for maior) dos dados devem ser usados para fazer uma representação gráfica de  $\ln(x)$  como a coordenada contra  $\ln[-\ln(1-p)]$ , onde  $\ln$  é um logaritmo natural.

Então, ignorando os dois menores valores (por causa da sua variabilidade excessiva), uma linha de regressão deve ser passada através destes pontos; esta linha de regressão descreve a distribuição Weibull. O declive da linha, denotado por  $s$ , deve estar relacionado ao coeficiente de variação,  $CV_{tail}$ , pela seguinte equação:

$$CV_{tail} = s^{-0,92}$$

#### A.3 Estimativas dos limites superior e inferior da distribuição de probabilidade

Os limites inferior e superior não paramétricos podem ser obtidos por uma variedade de métodos. Um procedimento simples é o seguinte:

Para a estimativa do limite inferior do valor do 5-percentil ( $f_{data\ 0,05, \inf}$ ):

$$f_{data\ 0,05, \inf} = \left(1 - \frac{2,7 CV_{tail}}{\sqrt{N}}\right) f_{data\ 0,05}$$

Para a estimativa do limite superior do valor de 5-percentil ( $f_{\text{data } 0,05, \text{sup}}$ ):

$$f_{\text{data } 0,05, \text{sup}} = \left( 1 + \frac{2,7CV_{\text{tail}}}{\sqrt{N}} \right) f_{\text{data } 0,05}$$

onde

$N$  é o tamanho da amostra;

$CV_{\text{tail}}$  é o coeficiente de variação da distribuição de *Weibull* montado na cauda da distribuição;

$f_{0,05}$  é valor do 5-percentil, obtido por interpolação linear entre os valores de p-percentil.

**EXEMPLO** A Tabela A.1 mostra um conjunto de dados ordenados de resistência à tração de uma amostra de 50 corpos de prova. A Tabela A.1 também contém os valores calculados dos percentis e logaritmos correspondentes. Os 15 menores dados são representados na Figura A.1. Conforme requisito, a curva de regressão na Figura A.1 ignora os dois valores mais baixos. Ela tem uma inclinação de  $s = 4,5$ . Na equação da Seção A.2, o coeficiente de variação correspondente do ajuste da cauda é de 0,25. Portanto, pela equação de A.3, o valor característico correspondente à estimativa do limite inferior do valor do 5-percentil ( $f_{\text{data } 0,05, \text{inf}}$ ) é de 10,57 MPa.

**Tabela A.1 – Exemplo de dados de ensaio de tração (continua)**

Corpos de prova i	Resistência à tração (MPa) x(i)	Percentil p(i)	ln(x)	ln [-ln (1-p)]
2	11,57	0,03	2,45	-3,49
3	11,68	0,05	2,46	-2,97
4	12,85	0,07	2,55	-2,62
5	13,11	0,09	2,57	-2,36
6	14,17	0,10	2,65	-2,15
7	14,41	0,11	2,67	-1,97
8	14,56	0,15	2,68	-1,82
9	14,73	0,17	2,69	-1,68
10	15,74	0,19	2,76	-1,56
11	16,06	0,21	2,78	-1,45
12	16,51	0,23	2,80	-1,34
13	16,73	0,25	2,82	-1,25
14	17,61	0,27	2,87	-1,07
15	17,61	0,29	2,87	-1,07
16	17,64	0,31	2,87	-0,99
17	18,06	0,33	2,89	-0,92
18	18,14	0,35	2,90	-0,84
19	18,64	0,37	2,93	-0,77
20	18,78	0,39	2,93	-0,70

Tabela A.1 (conclusão)

Corpos de prova i	Resistência à tração (MPa) x(i)	Percentil p(i)	ln(x)	ln [-ln (1-p)]
...	...	...	...	...
49	28,83	0,97	3,36	1,25
50	29,34	0,99	3,38	1,53

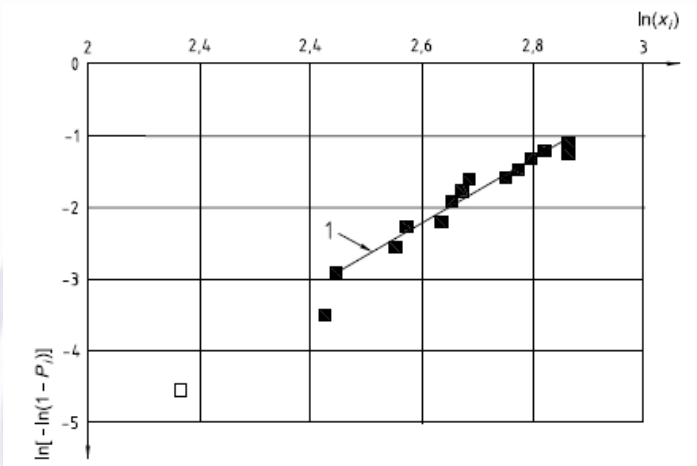


Figura A.1 – Lote de dados da Tabela A.1



## Bibliografia

- [1] ASTM D198, *Test methods of static tests of lumber in structural sizes*



---

**Projeto de estruturas de madeira**  
**Parte 5: Métodos de ensaio para determinação**  
**da resistência e da rigidez de ligações com**  
**conectores mecânicos**

*Timber Structures*  
*Part 5: Test Methods for determination of strength and stiffness of*  
*connections*

ICS 91.080.20

ISBN 978-85-07-09143-1



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 7190-5:2022  
7 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

## Sumário

Página

Prefácio .....	iv
1      Escopo .....	1
2      Símbolos e unidades .....	1
3      Condicionamento das ligações a serem ensaiadas .....	1
4      Forma e dimensões das ligações .....	1
5      Aparelhagem .....	2
6      Procedimentos para o carregamento .....	2
6.1    Estimativa da força máxima .....	2
6.2    Aplicação do carregamento .....	2
6.3    Medidas de deslizamento .....	3
6.4    Medida da força .....	3
6.5    Expressão dos resultados .....	4
6.6    Ajustes .....	4
7      Recomendação de arranjos para ligações com pinos .....	4
8      Relatório do ensaio .....	6
Bibliografia .....	7
 Figuras	
Figura 1 – Forma de aplicação do carregamento .....	3
Figura 2 – Diagrama de força <i>versus</i> deslizamento da ligação .....	3
Figura 3 – Arranjo de ensaio para o caso de força aplicada na direção paralela às fibras .....	5
Figura 4 – Arranjo de ensaio para o caso de duas peças laterais com força aplicada na direção normal e uma peça central com força aplicada na direção paralela às fibras .....	5
Figura 5 – Arranjo de ensaio para o caso de uma peça central com força aplicada na direção normal às fibras, e duas peças laterais com força aplicada na direção paralela às fibras .....	6

## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 7190-5 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (CE-002:126.010). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 12, de 21.12.2021 a 20.02.2022.

Esta Norma circulou na Consulta Nacional com a numeração ABNT NBR 17023. Por consenso, a CE-002.126.010 decidiu pela manutenção da numeração original para facilitar a associação ao número, e o documento foi publicado como ABNT NBR 7190-5.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 7190-5 é o seguinte:

## Scope

*This Standard specifies methods for the determination of the strength and stiffness of joints with mechanical fasteners used in wooden structures (metal-dowel, timber dowel, screws, nails, stamped connectors and metal rings).*

*This Standard does not apply to the detailed procedures for each type of mechanical connector.*

## Projeto de estruturas de madeira

### Parte 5: Métodos de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações com conectores mecânicos

#### 1 Escopo

Esta Norma especifica os métodos de ensaio para a determinação da resistência e da rigidez de ligações feitas com conectores mecânicos utilizados em estruturas de madeira (pinos metálicos, cavilhas de madeira, parafusos, pregos, conectores com dentes estampados e anéis metálicos).

Esta Norma não se aplica aos procedimentos detalhados para cada tipo de conector mecânico.

#### 2 Símbolos e unidades

$F$	força aplicada (N)
$F_{\text{est}}$	força máxima estimada (N)
$F_{\text{max}}$	força máxima (N)
$b$	largura da peça de madeira (mm)
$k$	módulo de deslizamento (N/mm)
$l$	distância medida na direção das fibras (mm)
$u$	deslizamento da ligação (mm)

#### 3 Condicionamento das ligações a serem ensaiadas

Deve-se atentar ao condicionamento da madeira antes da fabricação das ligações e também ao condicionamento das ligações antes da realização dos ensaios.

O condicionamento deve ser conduzido de maneira que as condições dos ensaios correspondam de forma realista às condições das ligações nas estruturas em relação à influência do teor de umidade nas propriedades de resistência da madeira ou à ocorrência de folgas, devidas às retrações.

Quando o objetivo dos ensaios for comparar ligações em condições similares, o condicionamento deve ser feito em temperatura de 20 °C e umidade relativa do ar igual a 65 %.

#### 4 Forma e dimensões das ligações

As ligações ensaiadas devem possuir forma e dimensões realistas de maneira que possam ser obtidas as informações de resistência e rigidez das ligações em serviço.

Como orientação para o caso de ligações com pinos, na Seção 7, são apresentadas recomendações para arranjos de ligações com força aplicada na direção paralela às fibras e na direção normal às fibras.

## 5 Aparelhagem

Além dos instrumentos usados para medir as dimensões dos elementos utilizados nas ligações (com precisão mínima de 0,1 mm) e o teor de umidade, devem estar disponíveis:

- a) máquina de ensaio capaz de aplicar e medir forças com precisão de  $\pm 1\%$   $F_{\text{est}}$  ou maior;
- b) dispositivo para medir o deslizamento da ligação durante o ensaio, com precisão de  $\pm 0,01$  mm.
- c) O dispositivo deve assegurar que excentricidades, torções, e outras distorções, não tenham influência nas medidas.

## 6 Procedimentos para o carregamento

### 6.1 Estimativa da força máxima

A força máxima estimada ( $F_{\text{est}}$ ) para o tipo de ligação a ser ensaiado deve ser determinada com base na experiência, cálculos ou ensaios preliminares, e deve ser ajustada de acordo com 6.6.

### 6.2 Aplicação do carregamento

O procedimento mostrado na Figura 1 deve ser seguido.

A força deve ser aplicada até  $0,5 F_{\text{est}}$  e mantida constante durante 30 s. Então, a força deve ser reduzida até  $0,1 F_{\text{est}}$  e mantida constante durante 30 s. Posteriormente, a força deve ser aumentada até atingir a força última ou o deslizamento de 15 mm.

Abaixo de  $0,7 F_{\text{est}}$ , o carregamento deve ser realizado com velocidade de aplicação de força ou deslizamento constante correspondentes a  $0,2 F_{\text{est}}$  por minuto ( $\pm 25\%$ ). Acima de  $0,7 F_{\text{est}}$ , deve ser usada uma velocidade constante de deslizamento, ajustada de forma que a força última ou o deslizamento de 15 mm seja atingido em um tempo adicional de 3 min a 5 min (o tempo total do ensaio deve ser entre 10 min a 15 min, aproximadamente).

O ensaio deve ser encerrado quando a força última for alcançada ou o deslizamento de 15 mm for atingido.



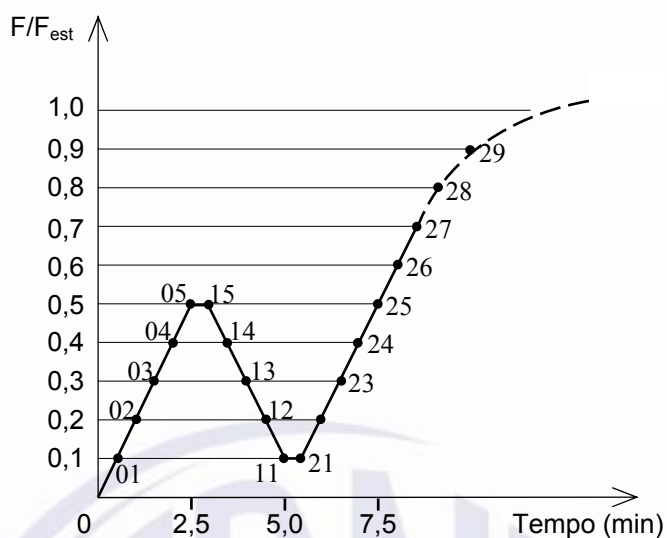


Figura 1 – Forma de aplicação do carregamento

### 6.3 Medidas de deslizamento

Os valores dos deslizamentos  $u_{01}$ ,  $u_{05}$ ,  $u_{15}$ ,  $u_{11}$ ,  $u_{21}$ ,  $u_{25}$ , e  $u_{28}$ , conforme a Figura 2, devem ser registrados para cada ensaio, bem como o deslizamento para a força máxima. Quando não se dispõe do diagrama força  $\times$  deslizamento, as medidas de deslizamento devem ser feitas a cada incremento de força igual a  $0,1 F_{est}$  (ver Figura 1).

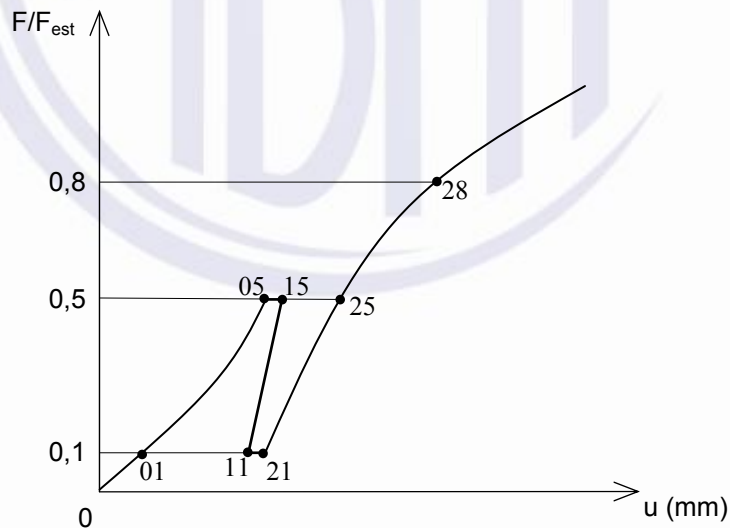


Figura 2 – Diagrama de força versus deslizamento da ligação

### 6.4 Medida da força

O valor da força correspondente ao deslizamento de 15 mm, ou o valor máximo da força, se atingido antes, deve ser registrado como força máxima ( $F_{max}$ ) para cada ensaio.

## 6.5 Expressão dos resultados

A partir das medidas registradas, devem ser determinados os seguintes valores, para cada ensaio:

- força máxima:  $F_{\text{máx.}}$ ;
- força máxima estimada:  $F_{\text{est.}}$ ;
- deslizamento inicial:  $u_i = u_{05}$ ;
- deslizamento inicial modificado:  $u_{i,\text{mod}} = \frac{5}{4}(u_{05} - u_{01})$
- acomodação da ligação:  $u_s = u_i - u_{i,\text{mod}}$
- deslizamento elástico:  $u_e = \frac{5}{8}(u_{15} + u_{25} - u_{11} - u_{21})$
- módulo de deslizamento inicial:  $k_i = 0,5 F_{\text{est.}}/u_i$
- módulo de deslizamento:  $k_s = 0,5 F_{\text{est.}}/u_{i,\text{mod}}$
- deslizamento para  $0,8 F_{\text{máx.}}$ :  $u_{0,8}$
- deslizamento para  $0,8 F_{\text{máx.}}$  modificado:  $u_{0,8 \text{ mod}} = u_{0,8} - u_{25} + u_{i \text{ mod}}$

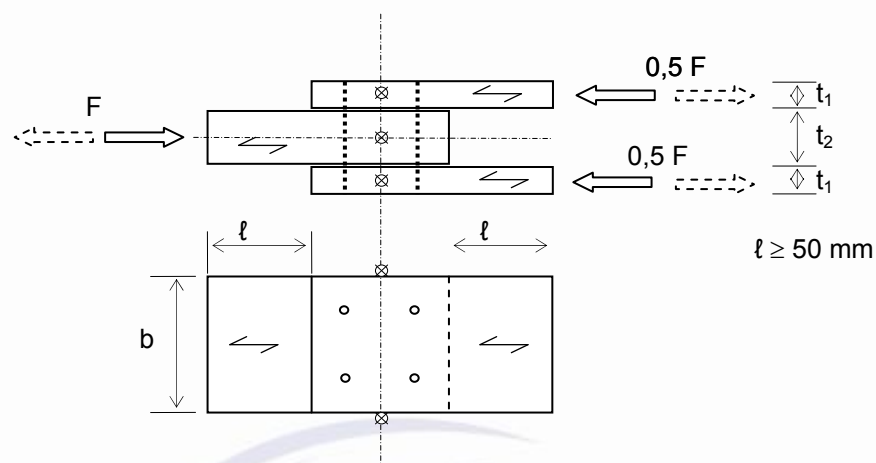
NOTA Os valores calculados em 6.5-i) e 6.5-j) são relativos ao valor real de  $F_{\text{máx.}}$  obtido em cada ensaio. Caso o diagrama força  $\times$  deslizamento contínuo esteja disponível, esses valores podem ser obtidos diretamente no gráfico. Se apenas as leituras de deslizamentos para incrementos de  $F_{\text{est}}$  estiverem disponíveis, os valores podem ser obtidos por interpolação.

## 6.6 Ajustes

Durante a execução dos ensaios, se o valor médio das forças máximas nos ensaios já realizados desviar mais do que 20 % do valor estimado,  $F_{\text{est}}$ , esse valor deve ser ajustado para os ensaios seguintes. Os valores de força máxima já determinados podem ser aceitos sem ajuste como parte dos resultados finais. Neste caso, os valores de deslizamentos e de módulos de deslizamentos determinados em 6.5-c) a 6.5-h) devem ser ajustados para corresponder aos valores ajustados de  $F_{\text{est}}$ .

## 7 Recomendação de arranjos para ligações com pinos

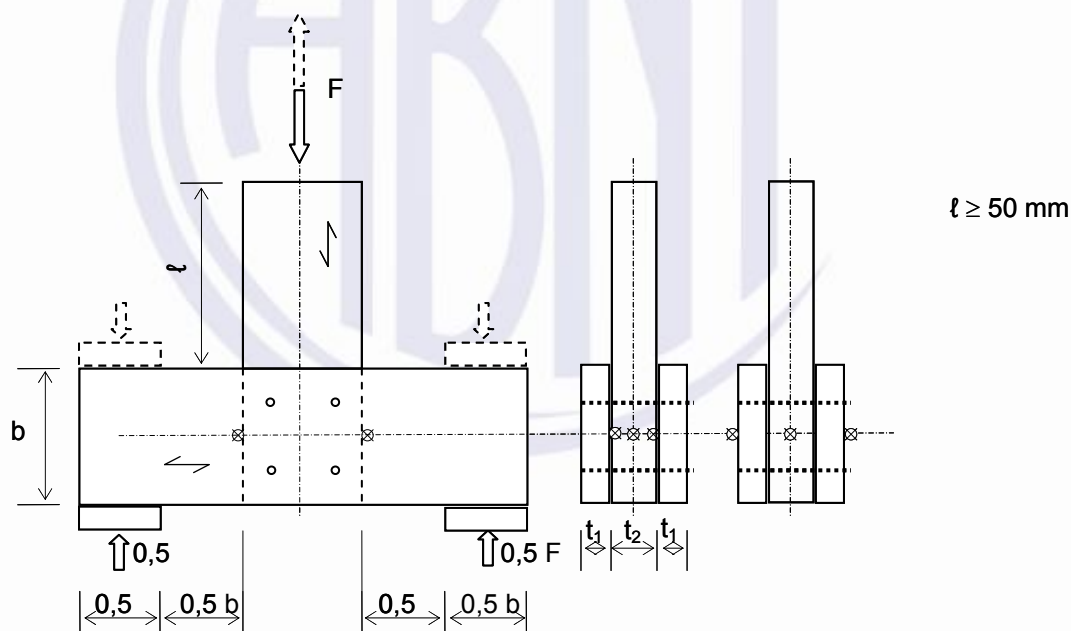
São apresentados três arranjos de ligações com pinos metálicos na situação de corte duplo, indicando os pontos de medida dos deslizamentos. Na Figura 3 é mostrado o caso de uma peça central e duas peças laterais com as forças transmitidas pelos pinos aplicadas na direção paralela às fibras da madeira. Na Figura 4 é apresentado o arranjo de duas peças laterais com forças aplicadas pelos pinos na direção normal às fibras, e uma peça central com forças aplicadas pelos pinos na direção paralela às fibras. Na Figura 5 é apresentado o caso de uma peça central com forças aplicadas pelos pinos na direção normal às fibras, e duas peças laterais com forças aplicadas pelos pinos na direção paralela às fibras.



#### Legenda

- ↗ direção das fibras
- ⊗ pontos de medida do deslizamento

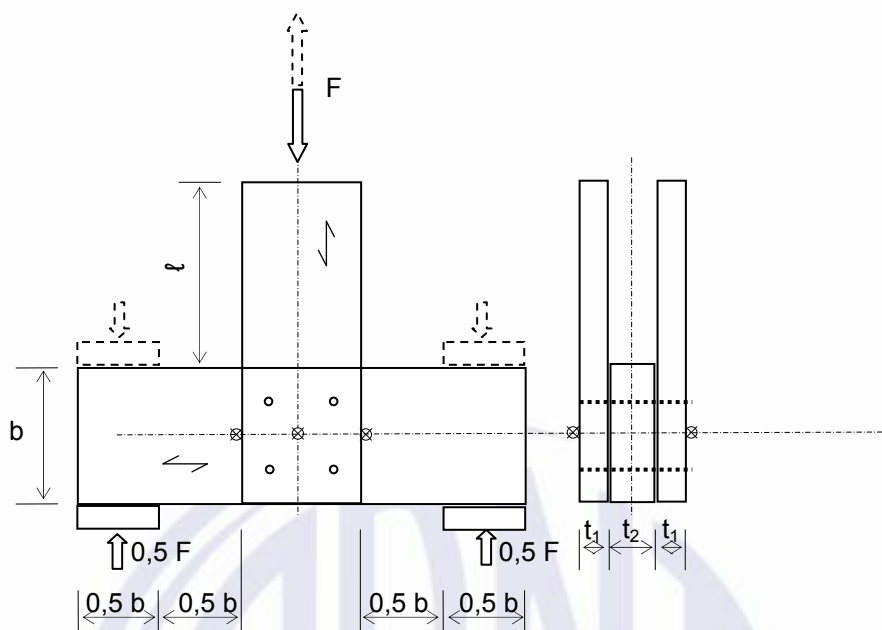
Figura 3 – Arranjo de ensaio para o caso de força aplicada na direção paralela às fibras



#### Legenda

- ↗ direção das fibras
- ⊗ pontos de medida do deslizamento

Figura 4 – Arranjo de ensaio para o caso de duas peças laterais com força aplicada na direção normal e uma peça central com força aplicada na direção paralela às fibras



**Figura 5 – Arranjo de ensaio para o caso de uma peça central com força aplicada na direção normal às fibras, e duas peças laterais com força aplicada na direção paralela às fibras**

## 8 Relatório do ensaio

No relatório de ensaio, devem ser incluídas as seguintes informações:

- espécies, densidade e propriedades de resistência da madeira;
- qualidade, propriedades de resistência e acabamento da superfície dos elementos de ligação (incluindo proteção anticorrosiva);
- dimensões das ligações, tamanho e número de elementos de ligação, detalhes de folgas entre as peças;
- condicionamento da madeira e das ligações após a fabricação, teor de umidade da madeira na confecção e no ensaio, fissuras etc.;
- procedimentos de carregamento usados, e a informação de algum desvio ocorrido;
- resultados individuais dos ensaios e qualquer informação importante referente a ajustes, valores médios e desvios-padrão, e descrição dos modos de falha.

## Bibliografia

- [1] ISO 6891, *Timber structures – Joints made with mechanical fasteners – General principles for the determination of strength and deformation characteristics*

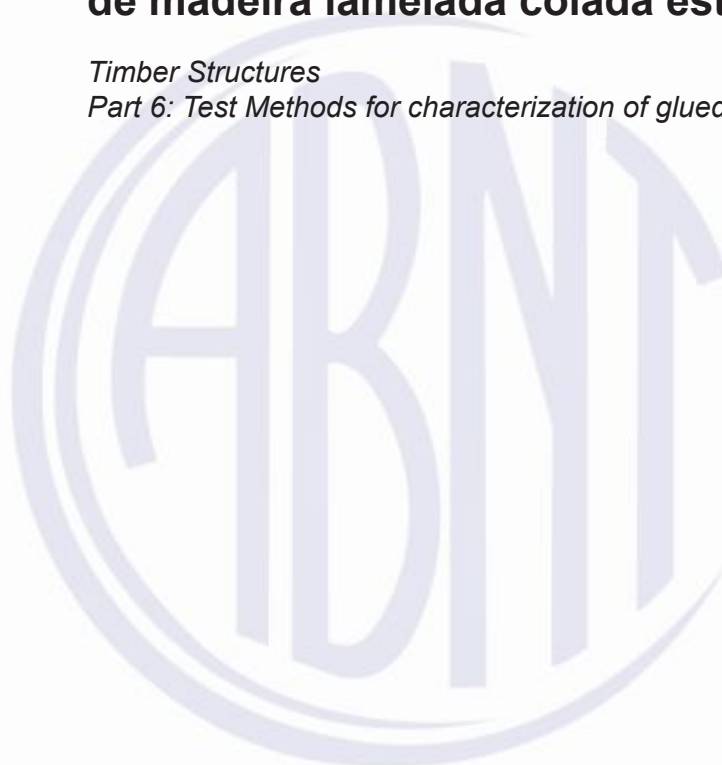


---

**Projeto de estruturas de madeira**  
**Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização**  
**de madeira lamelada colada estrutural**

*Timber Structures*

*Part 6: Test Methods for characterization of glued laminated timber*



ICS 91.080.20

ISBN 978-85-07-09144-8



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 7190-6:2022  
18 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)



## Sumário

Página

Prefácio .....	v
1 Escopo .....	1
2 Referência normativa .....	1
3 Símbolos .....	1
3.1 Letras romanas maiúsculas .....	1
3.2 Letras romanas minúsculas .....	2
3.3 Letras gregas minúsculas .....	2
4 Métodos de ensaio .....	2
4.1 Ciclo de delaminação .....	2
4.1.1 Princípio .....	2
4.1.2 Aparelhagem .....	3
4.1.3 Preparação dos corpos de prova .....	3
4.1.4 Procedimento .....	3
4.1.5 Cálculos .....	5
4.1.6 Expressão dos resultados .....	6
4.1.7 Relatório .....	7
4.2 Resistência ao cisalhamento nas linhas de cola .....	7
4.2.1 Princípio .....	7
4.2.2 Instrumentação .....	7
4.2.3 Preparação dos corpos de prova .....	8
4.2.4 Procedimento .....	8
4.2.5 Cálculo .....	9
4.2.6 Expressão dos resultados .....	9
4.2.7 Relatório .....	9
4.3 Resistência de emendas por união denteada .....	10
4.3.1 Princípio .....	10
4.3.2 Preparação dos corpos de prova .....	10
4.3.3 Requisitos dos materiais .....	11
4.3.4 Adesivos .....	11
4.3.5 Perfil do dente .....	12
4.3.6 Ajuste dos dentes .....	12
4.3.7 Aplicação do adesivo .....	12
4.3.8 Prensagem e cura .....	12
4.3.9 Resistência à tração paralela às fibras .....	13
4.3.10 Procedimento .....	13
4.3.11 Relatório de ensaio .....	14
4.4 Medição do adesivo espalhado .....	16
4.4.1 Princípio .....	16
4.4.2 Equipamentos e materiais .....	16
4.4.3 Procedimento .....	16
4.4.4 Cálculo .....	16

4.4.5	Relatório.....	16
	Bibliografia.....	18

#### Figuras

Figura 1	– Representação da face da seção transversal dos corpos de prova .....	3
Figura 2	– Corpo de prova e forma de disposição na câmara climatizadora para o ensaio de delaminação.....	5
Figura 3	– Dispositivo para o ensaio de cisalhamento na linha de cola.....	7
Figura 4	– Corpo de prova e área da aplicação da força no ensaio de cisalhamento .....	8
Figura 5	– Parâmetros geométricos das emendas denteadas.....	10
Figura 6	– Elementos estruturais para ensaios de resistência à tração paralela às fibras das emendas denteadas .....	11
Figura 7	– Tamanho do nó e distância entre o nó e a região de união denteada.....	12
Figura 8	– Orientação da união denteada .....	12
Figura 9	– Relação recomendada entre o comprimento do dente e a pressão aplicada .....	14

#### Tabelas

Tabela 1	– Limites permitidos de delaminação para cada ambiente de exposição .....	6
Tabela 2	– Quantidade de corpos de prova a extrair em função da largura do elemento laminado.....	8
Tabela 3	– Possíveis modos de ruptura das emendas denteadas.....	15

## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 7190-6 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (CE-002:126.010). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 12, de 21.12.2021 a 20.02.2022..

O Escopo em inglês da ABNT NBR 7190-6 é o seguinte:

## Scope

*This Standard specifies the test methods for delamination, shear on glue lines, traction on notched splices and measurement of adhesive spread.*

*This Standard applies to structural glued laminated timber according to ABNT NBR 7190-1.*



## Projeto de estruturas de madeira

### Parte 6: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada estrutural

#### 1 Escopo

Esta Norma especifica os métodos de ensaio de delaminação, cisalhamento nas linhas de cola, tração em emendas denteadas e medição do adesivo espalhado.

Esta Norma se aplica à madeira laminada colada estrutural conforme a ABNT NBR 7190-1.

#### 2 Referência normativa

O documento a seguir é citado no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 7190-1:2022, *Projeto de estruturas de madeira – Parte 1: Critérios de dimensionamento*

ABNT NBR 7190-4, *Projeto de estruturas de madeira – Parte 4: Métodos de ensaio para caracterização peças estruturais*

EN 301, *Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load-bearing timber structures – Classification and performance requirements*

EN 408, *Timber structures – Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties*

EN 15497, *Structural finger jointed solid timber – Performance requirements and minimum production requirements*

EN 15425, *Adhesives – One component polyurethane (PUR) for load-bearing timber structures – Classification and performance requirements*

EN 16254, *Adhesives – Emulsion polymerized isocyanate (EPI) for load-bearing timber structures – Classification and performance requirements*

#### 3 Símbolos

##### 3.1 Letras romanas maiúsculas

$A$	Área do papel ou fita
$Ad$	Quantidade de adesivo esparramado
$A_{gt,0}$	Área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo de prova da emenda
$D_t$	Delaminação total

$F$	Força
$F_{t0,máx.}$	Força máxima de tração paralela às fibras
$F_{v0,máx.}$	Força máxima de cisalhamento aplicada na lamela
$L_a$	Somatória das larguras das juntas abertas ou delaminadas sobre as faces da seção transversal
$L_{amáx.}$	Maior largura da junta aberta ou delaminada sobre as faces da seção transversal
$L_d$	Comprimento do dente da emenda denteada
$L_{jmáx.}$	Largura da junta que apresenta maior delaminação
$L_t$	Somatória das larguras de todas as linhas de cola em ambas as faces da seção transversal

### 3.2 Letras romanas minúsculas

$b$	Largura do corpo de prova
$b_d$	Largura do dente
$d$	Diâmetro de um nó
$f_{gt,0}$	Resistência à tração da emenda denteada
$f_{gt,0,k}$	Resistência característica à tração paralela às fibras de emendas denteadas
$f_{t,15,k}$	Resistência característica à tração paralela às fibras das últimas 15 emendas denteadas
$f_{v,0}$	Resistência ao cisalhamento da linha de cola
$m$	Massa
$t$	Altura do corpo de prova
$t_d$	Passo do dente

### 3.3 Letras gregas minúsculas

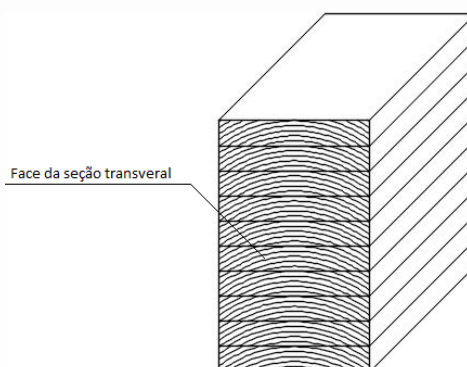
$\alpha_d$	Ângulo de inclinação
------------	----------------------

## 4 Métodos de ensaio

### 4.1 Ciclo de delaminação

#### 4.1.1 Princípio

Este método consiste na determinação da delaminação das linhas de cola de um lote de madeira lamelada colada. As linhas de cola devem ser avaliadas observando-se o desprendimento das lamelas em ambas as faces da seção transversal do corpo de prova (ver Figura 1).



**Figura 1 – Representação da face da seção transversal dos corpos de prova**

#### 4.1.2 Aparelhagem

**4.1.2.1** Autoclave apta para aplicar uma pressão entre 500 kPa e 600 kPa, e um vácuo entre 70 kPa e 85 kPa.

**4.1.2.2** Câmara climatizadora apta para manter:

- a) temperatura entre 65 °C e 75 °C, a uma umidade relativa compreendida entre 8 % e 10 %;
- b) temperatura entre 25 °C e 30 °C a uma umidade relativa entre 25 % e 35 %.

A velocidade de circulação do ar em seu interior deve estar compreendida entre 2,0 m/s e 3,0 m/s.

**4.1.2.3** Balança, apta para pesar com precisão de 1 g.

#### 4.1.3 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ser representativos da produção. Elas devem ser extraídas de elementos estruturais já fabricados ou de produtos especialmente fabricados durante o processo produtivo. Devem-se identificar os elementos de madeira laminada colada da qual foram extraídas. A umidade dos elementos estruturais deve estar na faixa de 12 %  $\pm$  2 %.

Cada corpo de prova deve ser extraído da seção transversal completa do elemento estrutural colado e deve-se cortar na forma perpendicular à direção das fibras, assegurando-se um comprimento de 75 mm  $\pm$  5 mm como indicado na Figura 2-a).

Se a largura do elemento estrutural for maior que 300 mm  $\pm$  5 mm, pode-se extrair dois ou mais corpos de prova com uma largura mínima de 150 mm  $\pm$  5 mm cada um. Se a altura for maior que 600 mm  $\pm$  5 mm, pode-se extrair dois ou mais corpos de prova com uma altura mínima de 300 mm  $\pm$  5 mm. Nestes casos, quando se preparam dois ou mais corpos de prova de uma seção transversal como consequência da largura e/ou altura do elemento estrutural de madeira laminada colada, se considera um único corpo de prova para fins de amostragem.

#### 4.1.4 Procedimento

##### 4.1.4.1 Generalidades

Para a determinação da delaminação das linhas de cola, as medidas dos comprimentos de cada linha das faces da seção transversal de cada corpo de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm.

Contemplam-se dois tipos de procedimentos: o procedimento 1 para adesivos de uso exterior e o procedimento 2 para adesivos de uso interior.



#### 4.1.4.2 Procedimento 1 – Adesivos de uso exterior

4.1.4.2.1 A massa de cada corpo de prova deve ser determinada com precisão de 1 g.

4.1.4.2.2 Os corpos de prova devem ser colocados na autoclave e introduzir água a uma temperatura compreendida entre 10 °C e 20 °C até que os corpos de prova estejam totalmente submersos. Os corpos de prova devem ser separados de modo que todas as seções transversais estejam livremente expostas à água.

4.1.4.2.3 Extrair o ar (geral um vácuo) entre 70 kPa e 85 kPa e manter durante 30 min.

4.1.4.2.4 Retirar o vácuo e inserir uma pressão entre 500 kPa e 600 kPa durante 2 h.

4.1.4.2.5 Secam-se os corpos de prova entre 10 h a 15 h na câmara climatizadora regulada a uma temperatura entre 65 °C e 75 °C, a uma umidade relativa entre 8 % e 10 % e a uma velocidade do ar circulante entre 2 m/s e 3 m/s. Durante a secagem os corpos de prova devem estar distanciados entre si de 50 mm, como mínimo, e as seções transversais cortadas devem estar posicionadas em forma paralela ao fluxo de ar (ver Figura 2-b)).

4.1.4.2.6 A massa de cada corpo de prova deve ser determinada com precisão de 1 g. A secagem na câmara climatizadora deve continuar até que a massa do corpo de prova alcance um valor compreendido entre 100 % e 110 % da massa inicial do corpo de prova determinado em 4.1.4.2.1

4.1.4.2.7 A massa final de cada corpo de prova deve ser registrada com precisão de 1 g e o comprimento aberto da somatória das linhas de cola das duas faces analisadas é determinado conforme indicado em 4.1.6.

#### 4.1.4.3 Procedimento 2 – Adesivos de uso interior

4.1.4.3.1 A massa de cada corpo de prova deve ser determinada com precisão de 1 g.

4.1.4.3.2 Os corpos de prova devem ser colocados na autoclave e introduzir água a uma temperatura compreendida entre 10 °C e 20 °C até que os corpos de prova estejam totalmente submersos. Os corpos de prova devem ser separados de modo que todas as seções transversais estejam livremente expostas à água.

4.1.4.3.3 Extrair o ar (gerar um vácuo) entre 70 kPa e 85 kPa e manter durante 30 min.

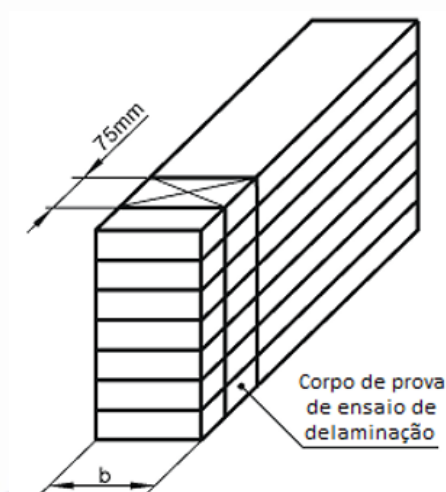
4.1.4.3.4 Retirar o vácuo e inserir uma pressão entre 500 kPa e 600 kPa e manter durante 2 h.

4.1.4.3.5 Este ciclo de vácuo e pressão deve ser repetido, de maneira que no total o processo dos dois ciclos de vácuo e pressão alcancem aproximadamente 5 h.

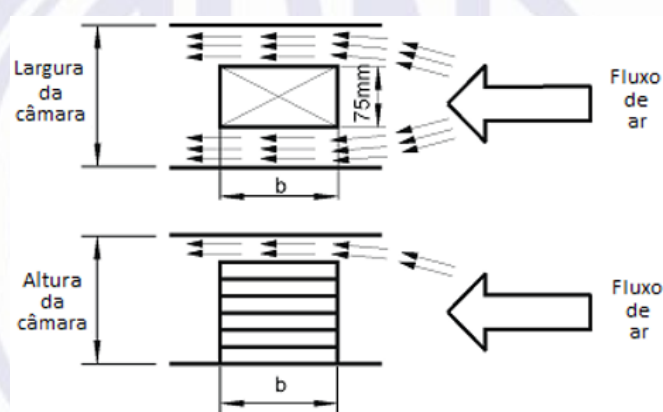
4.1.4.3.6 Secam-se os corpos de prova durante 90 h na câmara climatizadora regulada a uma temperatura entre 25 °C e 35 °C, a uma umidade relativa entre 25 % e 35 % e a uma velocidade do ar circulante entre 2 m/s e 3m/s. Durante a secagem, os corpos de prova devem estar distanciados entre si a 50 mm, como mínimo, e as seções transversais cortadas devem estar posicionadas em forma paralela ao fluxo do ar [ver Figura 2-b)].

4.1.4.3.7 A massa final de cada corpo de prova deve ser registrada com precisão de 1 g e determina-se o comprimento aberto da somatória das linhas de cola das duas faces analisadas como indicado em 4.1.6.

4.1.4.3.8 Depois de no máximo 1h de finalizado o procedimento de secagem, ao longo das linhas de cola devem ser medidas e registradas as juntas delaminadas ou uniões abertas que existem nas duas faces da seção transversal do corpo de prova com uma aproximação de 1 mm.



a) Corpo de prova



b) Forma de disposição na câmara climatizadora

**Figura 2 – Corpo de prova e forma de disposição na câmara climatizadora para o ensaio de delaminação**

#### 4.1.5 Cálculos

**4.1.5.1** A porcentagem de delaminação total ( $Dt$ ) para cada corpo de prova é calculada mediante a seguinte equação:

$$Dt = \frac{La}{Lt} \cdot 100$$

onde

$Dt$  é a delaminação total, expressa em porcentagem (%);

$La$  é a somatória das larguras das juntas abertas ou delaminadas sobre as faces da seção transversal, expressa em milímetros (mm);

$Lt$  é a somatória das larguras de todas as linhas de cola em ambas as faces da seção transversal, expressa em milímetros (mm).

**4.1.5.2** A maior porcentagem de delaminação para uma linha de cola é calculada mediante a seguinte equação:

$$Dt = 100 \frac{La_{m\acute{a}x.}}{Lj_{m\acute{a}x.}}$$

onde

$Dt_{m\acute{a}x.}$  é a maior delaminação para uma linha de cola, expressa em porcentagem (%);

$La_{m\acute{a}x.}$  é a maior largura da junta aberta ou delaminada sobre as faces da seção transversal, expressa em milímetros (mm);

$Lj_{m\acute{a}x.}$  é a largura da junta que apresenta maior delaminação, expressa em milímetros (mm).

#### 4.1.6 Expressão dos resultados

Registram-se as áreas com uniões debilitadas ocasionadas pela presença de nós e outras características que possam afetar os resultados. Estas zonas não podem ser incluídas na determinação da delaminação. Não se podem considerar as rupturas produzidas na madeira. As delaminações isoladas menores que 2,5 mm de largura e situadas a mais de 5 mm da delaminação mais próxima devem ser ignoradas.

Para avaliar a qualidade da colagem no interior do corpo de prova, as uniões podem ser separadas empregando-se um formão. Uma colagem deficiente ocasionada por falta de pressão ou abertura prematura se caracteriza por uma aparência lustrosa da superfície colada. Esta informação deve ser registrada no relatório.

A delaminação máxima permitida após a realização do procedimento conforme a Tabela 1.

Se a delaminação total observada após o primeiro ciclo exceder os valores da Tabela 1 de acordo com o uso e a espécie utilizadas, o ciclo inteiro deve ser repetido com novos corpos de prova. A delaminação observada e registrada no final do segundo ciclo não pode exceder 10% para ambas as espécies.

Para ambos os procedimentos, a máxima porcentagem de delaminação de uma linha de cola deve ser menor ou igual a 30 %.

**Tabela 1 – Limites permitidos de delaminação para cada ambiente de exposição**

Ambiente de exposição	Tipo de procedimento	Coníferas	Folhosas
Externo	Externo	4 %	6 %
Externo protegido	Externo	6 %	8 %
Interno	Interno	8 %	10 %

#### 4.1.7 Relatório

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- a identificação completa do corpo de prova e do elemento de onde se obteve;
- a determinação do ensaio realizado e a menção a esta Norma, isto é ABNT NBR 7190-6;
- a espécie de madeira e a classe resistente de acordo com a ABNT NBR 7190-1;
- o tipo de adesivo da união;
- o procedimento de ensaio aplicado (1 ou 2);
- o valor da porcentagem de delaminação total e o valor da maior porcentagem de delaminação;
- qualquer observação que o responsável do ensaio considere necessária e qualquer desvio ao procedimento de ensaio;
- a assinatura do responsável do ensaio;
- a data de ensaio.

## 4.2 Resistência ao cisalhamento nas linhas de cola

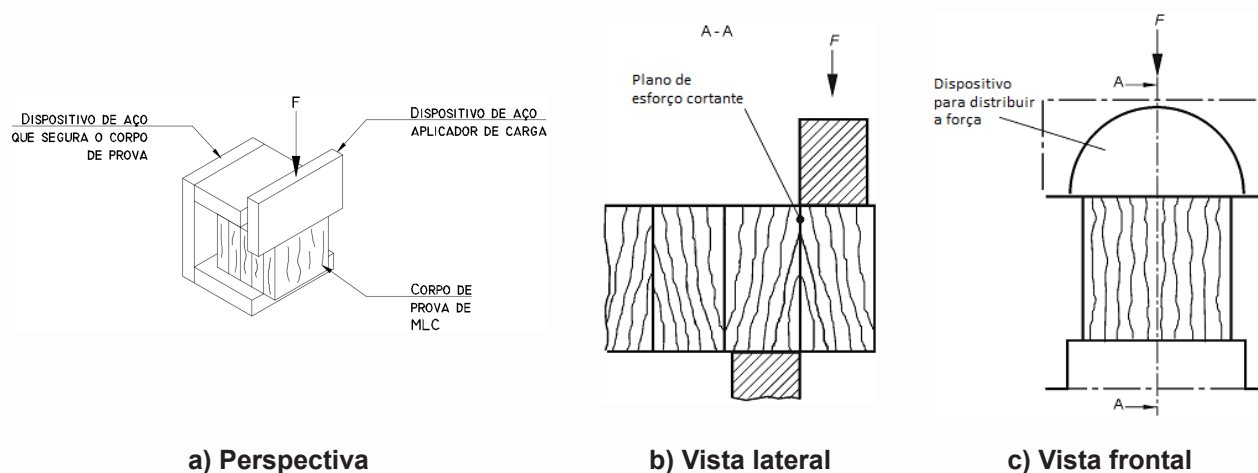
### 4.2.1 Princípio

Este método consiste na determinação da resistência ao cisalhamento nas linhas de cola da madeira lamelada colada de um lote.

### 4.2.2 Instrumentação

**4.2.2.1** Máquina de ensaio de compressão, apta para medir as forças de ruptura e aplicar a força a uma velocidade constante, de maneira que a ruptura se alcance em um tempo mínimo de 20 s.

**4.2.2.2** O dispositivo para aplicar a força de corte consiste em uma peça que transmite a força ao corpo de prova e deve estar articulada de tal forma que a força atue sobre a superfície transversal do corpo de prova com uma distribuição uniforme de pressão em toda a largura do corpo de prova (ver Figura 3).



**Figura 3 – Dispositivo para o ensaio de cisalhamento na linha de cola**

4.2.3 Preparação dos corpos de prova

4.2.3.1 Cada corpo de prova deve ser marcado de modo que se possa identificar a viga da qual foi retirada a amostra. O corpo de prova retirado deve ser parte da seção transversal do elemento estrutural.

4.2.3.2 Na Figura 4, apresenta-se o corpo de prova na forma de ensaio. A espessura ( $t$ ) do corpo de prova deve ser igual a 100 mm, a largura ( $b$ ) e o comprimento ( $l$ ) dos corpos de prova devem ser os maiores possíveis, levando-se em conta que o ensaio deve abranger toda a seção transversal dos elementos colados. Na Tabela 2, indica-se a quantidade de corpos de prova a extrair em função da largura do elemento colado. Nestes casos, quando se preparam dois ou mais corpos de prova de uma seção transversal, como consequência da largura do elemento estrutural de madeira laminada colada, se considera um único corpo de prova para fins de amostragem.

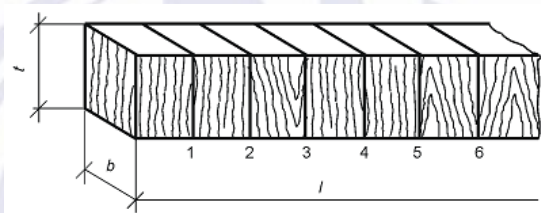


Figura 4 – Corpo de prova e área da aplicação da força no ensaio de cisalhamento

Tabela 2 – Quantidade de corpos de prova a extrair em função da largura do elemento laminado

Largura do elemento laminado mm	Número de corpos de prova
≤ 100	1
> 100 e ≤ 160	2
> 160	3

4.2.3.3 As superfícies onde são aplicadas as forças devem estar paralelas entre si e perpendiculares à direção das fibras.

4.2.3.4 O número de linhas de cola a ensaiar em um corpo de prova deve ser como mínimo de 3 da parte superior, 3 da parte central e 3 da parte inferior. Se o número de linhas de cola do corpo de prova for menor que 10 se devem ensaiar todas as linhas de cola.

4.2.4 Procedimento

4.2.4.1 O plano de cola do corpo de prova deve ser submetido a uma força de cisalhamento, aplicando-se uma força na direção paralela às fibras da madeira, que se incrementa gradualmente, até chegar ao ponto de falha do corpo de prova. A resistência ao cisalhamento na linha de cola e a porcentagem de falha na madeira na área cisalhada deve ser registrada.

4.2.4.2 As amostras devem ser condicionadas em temperatura de 20 °C ± 2 °C e umidade relativa do ar de (65 ± 5) %.

4.2.4.3 A altura ( $t$ ) e a largura ( $b$ ) da superfície colada que se submete ao cisalhamento deve ser medida com exatidão de 0,1 mm. No mínimo duas medições devem ser realizadas em cada extremo da superfície para a determinação do valor médio.

**4.2.4.4** Os corpos de prova devem ser colocados em uma máquina de ensaio e uma força a uma velocidade constante deve ser aplicada, de maneira que a falha ocorra no mínimo em 20 s.

**4.2.4.5** A força máxima ( $F_{v0,max}$ ) a qual produziu a falha deve ser registrada, em newtons.

**4.2.4.6** O corpo de prova deve ser retirado da máquina de ensaio e as duas lamelas rompidas devem ser separadas de modo a determinar a porcentagem de ruptura na madeira.

**4.2.4.7** Uma lamela rompida da seção transversal que foi submetida ao cisalhamento completo deve ser reservada para determinar o teor de umidade de acordo com a ABNT NBR 7190-1.

## 4.2.5 Cálculo

A resistência ao cisalhamento para a linha de cola é calculada com a seguinte equação:

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,max}}{b \cdot t}$$

onde

$f_{v0}$  é a resistência ao cisalhamento da linha de cola, expressa em megapascals (MPa);

$F_{v0,max}$  é a força de máxima cisalhante aplicada na lamelas, expressa em Newtons (N);

$b$  é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$t$  é a altura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

## 4.2.6 Expressão dos resultados

Para estimar a área de ruptura em relação ao total da área submetida ao cisalhamento, as uniões podem ser separadas empregando um formão. A porcentagem de ruptura deve ser determinada em relação a área total da madeira e de acordo com o modo de ruptura.

## 4.2.7 Relatório

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- a) a identificação completa do corpo de prova e do elemento de onde se obteve;
- b) a determinação realizada e a menção a esta Norma, isto é ABNT NBR 7190-6;
- c) a espécie de madeira e a classe resistente de acordo com a ABNT NBR 7190-1;
- d) o tipo de adesivo;
- e) a resistência ao cisalhamento e a porcentagem de ruptura na madeira em cada uma das linhas de colagem ensaiadas, e a média de cada corpo de prova;
- f) o conteúdo de umidade de cada um dos corpos de prova;
- g) qualquer observação que o responsável do ensaio considere necessária e qualquer desvio ao procedimento de ensaio;
- h) a assinatura do responsável do ensaio;
- i) a data do ensaio.

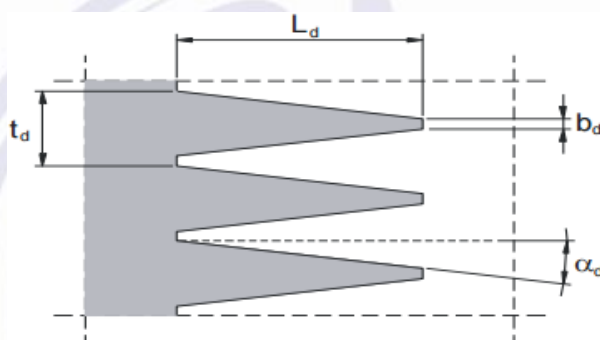


### 4.3 Resistência de emendas por união denteada

#### 4.3.1 Princípio

Este método consiste na determinação da resistência das emendas denteadas à tração paralela às fibras das lamelas de madeira. São estabelecidos requisitos mínimos de uniões longitudinais tipo denteadas de lamelas de madeira maciça, de uma mesma espécie, destinadas ao uso em elementos estruturais. Para fins de controle de qualidade das emendas por união denteadas, permite-se a determinação da resistência a flexão de acordo com a ABNT NBR 7190-4, EN 408 e EN 15497.

NOTA Este tipo de união longitudinal de lamelas de madeiras maciças, tábuas, são aquelas cujos extremos tem forma de dente, de igual passo e igual perfil, aderidos um ao outro através de colagem e pressão (ver Figura 5).



#### Legenda

- $L_d$  comprimento do dente
- $t_d$  passo do dente
- $b_d$  largura do dente
- $\alpha_d$  ângulo de inclinação

**Figura 5 – Parâmetros geométricos das emendas denteadas**

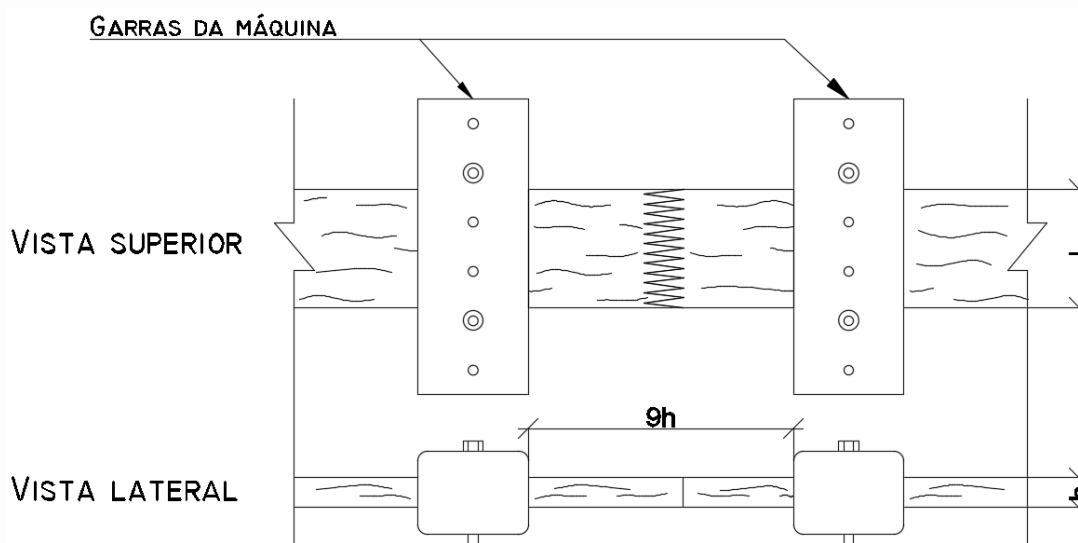
#### 4.3.2 Preparação dos corpos de prova

A amostra deve ser representativa das emendas denteadas de madeira lamelada colada (ver Figura 6).

Para se determinar a resistência à tração paralela às fibras das emendas denteadas da madeira lamelada colada, utilizam-se elementos em dimensões estruturais conforme descrito na ABNT NBR 7190-1:2022, 6.7.4.8, que define as espessuras mínimas e máximas das lamelas para elementos de MLC.

As amostras devem ter um comprimento mínimo de nove vezes a menor dimensão de sua seção transversal entre as garras da máquina de ensaio, conforme ilustrado na Figura 6.





**Figura 6 – Elementos estruturais para ensaios de resistência à tração paralela às fibras das emendas denteadas**

### 4.3.3 Requisitos dos materiais

#### 4.3.3.1 Madeira

Recomenda-se a utilização da mesma espécie de madeira para a produção das emendas denteadas.

#### 4.3.4 Adesivos

Os adesivos utilizados nas emendas de continuidade devem ser estruturais e apresentar propriedades compatíveis às condições ambientais a que os elementos estruturais são submetidos durante toda a sua vida útil, conforme as EN 301, EN 15425 e EN 16254, a depender do tipo de adesivo utilizado. A quantidade de adesivo e os demais parâmetros de colagem devem atender às especificações dos fabricantes do adesivo.

NOTA Recomenda-se a utilização de adesivos certificados por organismos reconhecidos e/ou laboratórios especializados.

#### 4.3.4.1 Requisitos de fabricação

Os locais de fabricação devem possuir os requisitos de temperatura e umidade requeridos. Os equipamentos devem ser adequados para atender aos requisitos desta Norma.

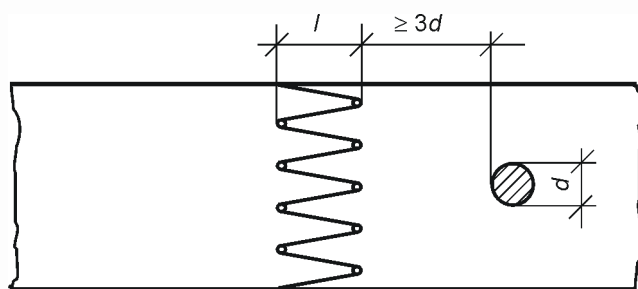
A temperatura da madeira na zona da união denteada, no momento da montagem, deve ser igual ou maior que 15 °C ou conforme indicado pelo fabricante do adesivo utilizado.

O teor de umidade das lamelas deve ser conforme o indicado pelo fabricante do adesivo utilizado. A diferença do teor de umidade entre as lamelas que são unidas deve ser menor ou igual a 5 %.

#### 4.3.4.2 Presença de defeitos na região de união

Os nós de tamanho menor que 6 mm podem ser desprezados. O tamanho dos nós deve ser calculado pela distância entre as tangentes deste ( $d$ ), que sejam paralelas ao eixo longitudinal da peça (ver Figura 7).

A distância entre a união denteada e um nó deve ser igual ou maior que três vezes o tamanho do nó (ver Figura 7).



**Figura 7 – Tamanho do nó e distância entre o nó e a região de união denteadada**

Na zona de união e até 75 mm a partir dela, a falta de borda (esmoado) só é aceitável se ela não se apresentar em mais de duas arestas. Por sua vez, a perda da seção transversal por este motivo não pode ser inferior ou igual a 1 % da área da seção transversal.

Não se aceitam fissuras na zona de união, nem desvios acentuados de fibras, nem defeitos que possam afetar a resistência e a correta adesão do material.

#### 4.3.4.3 Orientação da união denteadada

Contemplam-se dois tipos de uniões denteadas: na vertical e na horizontal. No primeiro caso, os dentes são visíveis na face larga das lamelas e no segundo são visíveis na face estreita (ver Figura 8).



**Figura 8 – Orientação da união denteadada**

#### 4.3.5 Perfil do dente

Recomenda-se que a forma e as medidas do perfil do dente sejam conforme a ABNT NBR 7190-1.

#### 4.3.6 Ajuste dos dentes

A usinagem dos dentes deve ser feita com ferramentas e máquinas apropriadas, que possam assegurar um perfeito ajuste sem prejuízo à união denteadada.

Em todos os casos, devem-se manter limpas as superfícies a serem coladas.

Para evitar falsos ajustes devido a um aumento ou diminuição na umidade da madeira, as uniões devem ser feitas o mais rápido possível e, no máximo, dentro de 24 h após a usinagem.

#### 4.3.7 Aplicação do adesivo

O adesivo pode ser aplicado em uma ou ambas as extremidades a serem unidas e em todas as superfícies dos dentes, conforme especificação do fabricante do adesivo. Um indicador do atendimento a este requisito é a visualização do adesivo em todos os quatro lados da união após aplicação da pressão final no elemento.

#### 4.3.8 Prensagem e cura

Para o processo de colagem da madeira por uniões denteadas for suficiente, um período relativamente curto de prensagem. A pressão total deve ser mantida pelo menos 2 s.

A pressão apropriada para alcançar uma resistência que atenda aos requisitos depende principalmente do perfil do dente, do tipo de madeira, do teor de umidade e da seção transversal. Recomenda-se estabelecer as características da prensagem com base nesses fatores.

A determinação da pressão aplicada deve ser feita por meio da curva conforme a Figura 9, para evitar rachaduras e fissuras na zona de compressão dos dentes.

Após a prensagem das uniões denteadas, estas devem ser acondicionadas para que ocorra a cura do adesivo de acordo com o tempo recomendado pelo fabricante, até que a madeira possa ser processada, sem perigo para a estabilidade da emenda denteada.

As lamelas utilizadas em elementos estruturais retos podem ser montadas sem armazenamento intermediário, quando por meio de processos seja assegurado que as uniões não sejam solicitadas no período. Caso contrário, deve-se esperar a cura do adesivo.

#### 4.3.9 Resistência à tração paralela às fibras

A resistência à tração paralela às fibras das emendas denteadas de lamelas de MLC ( $f_{gt,0}$ ) é dada convencionalmente pela razão entre a máxima força de tração aplicada a um corpo de prova alongado e a área  $A_{gt,0}$  do trecho da emenda. A resistência à tração paralela às fibras é calculada conforme a seguinte equação:

$$f_{gt,0} = \frac{F_{t0,max}}{A_{gt,0}}$$

onde

$F_{t0,máx.}$  é a máxima força de tração paralela às fibras aplicada ao elemento estrutural durante o ensaio, expressa em Newtons (N);

$A_{gt,0}$  é a área inicial da seção transversal tracionada do trecho central do corpo de prova da emenda, expressa em milímetros ao quadrado (mm<sup>2</sup>);

$f_{gt,0}$  é a resistência à tração da emenda denteada, expressa em Megapascals (MPa).

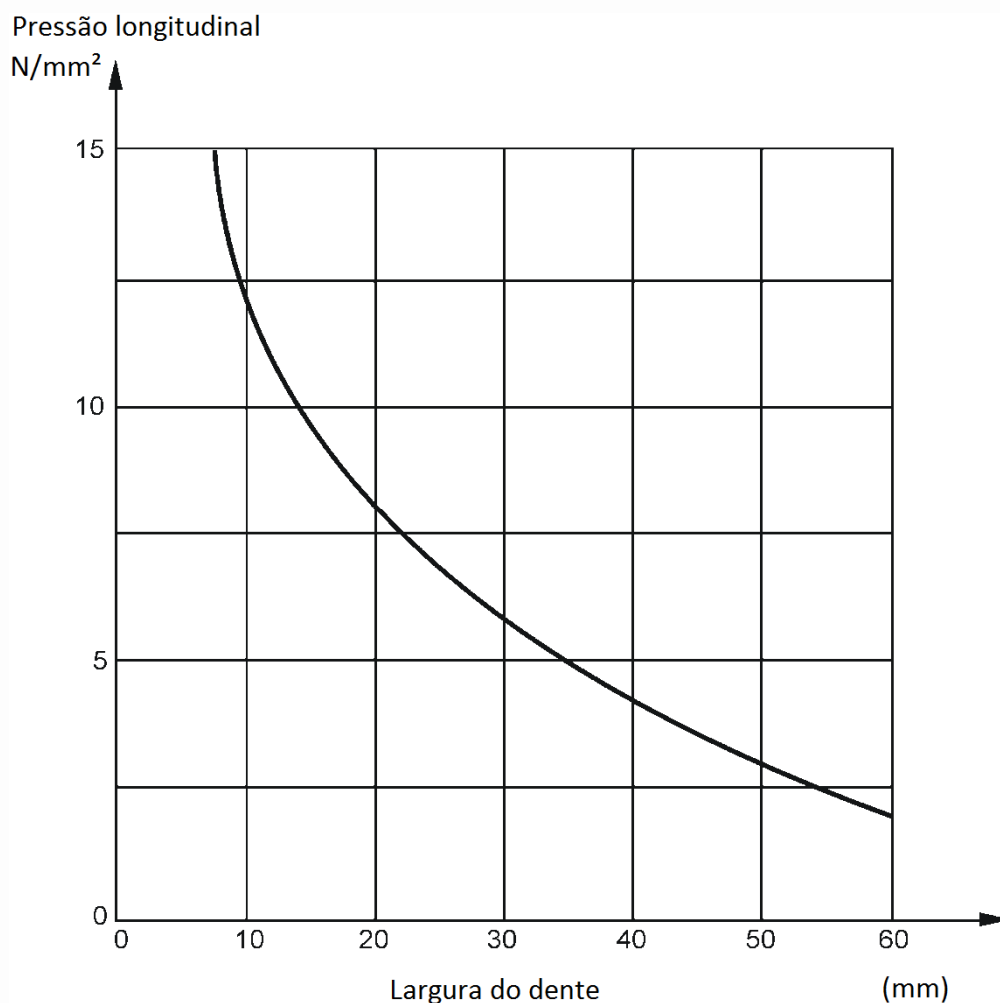
O valor característico da resistência à tração paralela às fibras ( $f_{gt,0,k}$ ) de emendas denteadas deve ser determinado pelo estimador dado pela ABNT NBR 7190-1.

#### 4.3.10 Procedimento

**4.3.10.1** Para a determinação da resistência à tração paralela das emendas denteadas, as medidas da seção transversal do trecho central dos corpos de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm.

**4.3.10.2** Para o ajuste do corpo de prova na máquina de ensaio, devem ser utilizados os acessórios específicos para este tipo de ensaio. A emenda denteada das amostras deve estar localizada no centro do vão antes do início da realização do ensaio.

**4.3.10.3** O carregamento deve ser monotônico crescente correspondente a uma taxa de 10 MPa/min. A força de ruptura deve ser alcançada dentro de  $(300 \pm 120)$  s.



**Figura 9 – Relação recomendada entre o comprimento do dente e a pressão aplicada**

#### 4.3.11 Relatório de ensaio

O relatório técnico deve conter as seguintes informações:

- a identificação da amostra: a espécie e a classe de resistência da madeira, o tipo de adesivo e outros componentes utilizados;
- o método utilizado e a menção a esta Norma, isto é ABNT NBR 7190-6;
- as medidas transversais das lamelas;
- o tratamento aplicado à madeira;
- a data de fabricação da união denteada;
- a força de ruptura, a resistência à tração, a descrição do modo de ruptura de acordo com a Tabela 3 com a porcentagem de falha na madeira e se foi realizada a determinação da resistência característica das últimas 15 uniões ( $f_{t,15,k}$ ).

Tabela 3 – Possíveis modos de ruptura das emendas denteadas

Modo de ruptura	Descrição da ruptura	Exemplo
1	A maior parte da ruptura ocorre ao longo da linha de colagem do perfil da união com pouca ruptura na madeira (ruptura na madeira <70 %)	
2	A maior parte da ruptura ocorre ao longo da linha de colagem do perfil da união com boa ruptura por cisalhamento na madeira (ruptura na madeira >70 %)	
3	A maior parte da ruptura ocorre ao longo do perfil da união, mas com alguma ruptura na madeira na região das bases dos dentes. Boa ruptura na madeira ao longo das superfícies do perfil da união	
4	A maior parte da ruptura ocorre por tração nas bases dos dentes com alta ruptura na madeira. Pouca ruptura de qualquer tipo ao longo do perfil da união.	
5	A ruptura começa na união e se afasta progressivamente para fora da união. Essencialmente 100 % ruptura na madeira	
6	A ruptura é fora da união (não influenciada pela união) e 100 % de ruptura na madeira	

## 4.4 Medição do adesivo espalhado

### 4.4.1 Princípio

Este método consiste na determinação da quantidade de adesivo espalhado em uma lamela para verificar a conformidade com as recomendações do fabricante.

### 4.4.2 Equipamentos e materiais

4.4.2.1 Balança com precisão de 1 g.

4.4.2.2 Qualquer papel ou fita de superfície conhecida ou outro material que possa ser colado no processo de produção e que tenha uma massa comparável com a da quantidade de adesivo que fica sobre ele.

### 4.4.3 Procedimento

4.4.3.1 Mede-se a superfície do papel ou fita com precisão de 1 mm e determina-se sua massa com precisão de 1 g.

4.4.3.2 Coloca-se o papel ou fita sobre a lamela de madeira.

4.4.3.3 Aplica-se o adesivo em uma lamela de madeira onde se encontra o papel ou fita.

4.4.3.4 Extrai-se o papel ou a fita e se determina a massa deste com o adesivo, com precisão de 1 g.

### 4.4.4 Cálculo

A quantidade de mistura do adesivo aplicado deve ser calculada com a seguinte equação:

$$Ad = \frac{m_2 - m_1}{A}$$

onde

$Ad$  é a quantidade de adesivo esparramado, expressa em gramas por metros quadrados (g/m<sup>2</sup>);

$m_2$  é a massa do papel ou fita com o adesivo, expressa em gramas (g);

$m_1$  é a massa do papel ou fita sem o adesivo, expressa em gramas (g);

$A$  é a área do papel ou fita, expressa em metros quadrados (m<sup>2</sup>).

Este valor deve ser comparado com a quantidade recomendada pelo fabricante do adesivo usado.

### 4.4.5 Relatório

O relatório de ensaio deve conter as seguintes informações:

- a determinação realizada e a menção a esta Norma, isto é ABNT NBR 7190-6;
- a massa e a área do papel ou fita antes da colagem;
- a massa depois da colagem;

- d) o adesivo usado e todas as características próprias do processo de espalhamento da mistura: temperatura, dosificação do adesivo, tipo de espalhador etc.;
- e) o quociente entre a massa do adesivo espalhado do papel ou fita, em gramas por metro quadrado;
- f) qualquer observação ou qualquer desvio do procedimento definido;
- g) a data do ensaio.





## Bibliografia

- [1] EN 14080, *Timber structures – Glued laminated timber and glued solid timber – Requirements*

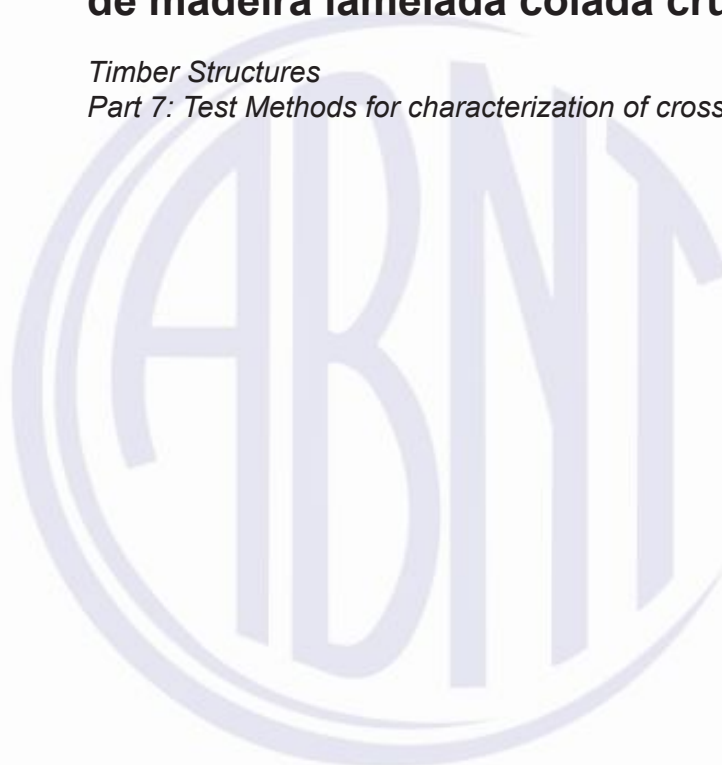


---

**Projeto de estruturas de madeira**  
**Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização**  
**de madeira lamelada colada cruzada estrutural**

*Timber Structures*

*Part 7: Test Methods for characterization of cross laminated timber*



ICS 91.080.20

ISBN 978-85-07-09148-6



ASSOCIAÇÃO  
BRASILEIRA  
DE NORMAS  
TÉCNICAS

Número de referência  
ABNT NBR 7190-7:2022  
27 páginas



© ABNT 2022

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

ABNT

Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 3974-2346

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

## Sumário

Página

Prefácio .....	iv
1 Escopo .....	1
2 Referências normativas .....	1
3 Termos e definições .....	1
4 Símbolos e unidades .....	3
5 Denominação das características de resistência, rigidez e densidade da madeira laminada cruzada .....	6
6 Ensaios para determinar as características para carregamentos perpendiculares ao plano do painel .....	8
6.1 Flexão .....	8
6.1.1 Corpos de prova .....	8
6.1.2 Determinação da rigidez efetiva à flexão perpendicular ao plano $(EI)_{zx, zy}$ .....	9
6.1.3 Propriedades de resistência e rigidez do painel MLCC .....	11
6.2 Rigidez ao cisalhamento do painel, resistência ao cisalhamento transversal ( <i>Rolling Shear</i> ) baseado em ensaios de flexão .....	11
6.3 Resistência e rigidez ao cisalhamento transversal derivada do ensaio de cisalhamento (método alternativo) .....	14
6.3.1 Corpos de prova .....	14
6.3.2 Procedimento de ensaio .....	17
7 Ensaios para determinar as características para carregamentos paralelos ao plano do painel .....	17
7.1 Flexão .....	17
7.1.1 Corpos de prova .....	17
7.1.2 Determinação da rigidez à flexão perpendicular ao plano $(EI)_{xy}$ .....	18
7.2 Rigidez ao cisalhamento na flexão com carregamento paralelo ao plano do painel ...	18
7.3 Cisalhamento em uma camada – Seção transversal líquida .....	19
7.4 Cisalhamento nas linhas de cola entre camadas – Cisalhamento na torção .....	19
8 Ensaio de delaminação na linha de cola .....	20
8.1 Princípio .....	20
8.2 Aparelhagem .....	20
8.2.1 Autoclave .....	20
8.2.2 Estufa ou Duto de secagem .....	20
8.2.3 Balança .....	21
8.2.4 Formão metálico e martelo .....	21
8.3 Amostragem e preparação dos corpos de prova .....	21
8.4 Procedimento .....	21
8.4.1 Considerações gerais .....	21
8.4.2 Medição e avaliação das delaminações .....	21
8.4.3 Execução do ensaio .....	22
8.5 Expressão dos resultados .....	22
8.5.1 Considerações gerais .....	22

8.5.2	Delaminação total.....	23
8.5.3	Máxima delaminação .....	23
8.5.4	Porcentagem de falha na madeira .....	23
9	Ensaio de cisalhamento na linha de cola .....	23
9.1	Princípio .....	23
9.2	Aparelhagem.....	23
9.3	Corpo de prova.....	24
9.3.1	Generalidades .....	24
9.3.2	Amostragem .....	25
9.3.3	Marcação dos corpos de prova .....	25
9.3.4	Cálculo da resistência ao cisalhamento da linha de cola .....	25
9.4	Procedimento .....	25
10	Relatório do ensaio .....	26
	Bibliografia.....	27

## Figuras

Figura 1 – Pannel de madeira lamelada colada cruzada.....	2
Figura 2 – Tensões normais .....	6
Figura 3 – Tensões de flexão.....	6
Figura 4 – Tensões de cisalhamento .....	7
Figura 5 – Ensaio de flexão em painéis de MLCC com forças perpendiculares ao plano .....	9
Figura 6 – Diagrama de força x deslocamento com o intervalo na fase de deformação elástica .....	10
Figura 7 – Determinação da resistência e rigidez ao cisalhamento transversal ( <i>rolling shear</i> ).....	12
Figura 8 – Determinação somente da força de resistência ao cisalhamento transversal ( <i>rolling shear</i> ) .....	12
Figura 9 – Esquema de corte para corpos de prova de painéis de MLCC contendo mais do que três camadas .....	14
Figura 10 – Ensaio alternativo de cisalhamento transversal ( <i>rolling shear</i> ) para madeira lamelada colada cruzada .....	15
Figura 11 – Diagrama de força x deslocamento com o intervalo na fase de deformação elástica .....	16
Figura 12 – Ensaio de flexão para pannel de madeira lamelada colada cruzada com carregamento paralelo ao plano do pannel .....	18
Figura 13 – Cisalhamento em uma camada – Seção transversal líquida.....	19
Figura 14 – Cisalhamento de torção nas linhas de cola entre as camadas. ....	20
Figura 15 – Dispositivo para o ensaio de cisalhamento na linha de cola de MLCC .....	24
Figura 16 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola para MLCC.....	24
Figura 17 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola para colagens laterais.....	25

**Tabela**

<b>Tabela 1 – Denominação das características de resistência, rigidez e densidade da madeira laminada cruzada .....</b>	<b>7</b>
---	----------



## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR 7190-7 foi elaborada no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Estruturas de Madeiras (CE-002:126.010). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 12, de 21.12.2021 a 20.02.2022.

A ABNT NBR 7190-7 é baseada na EN 16351.

Esta Norma circulou na Consulta Nacional com a numeração ABNT NBR 17025. Por consenso, a CE-002.126.010 decidiu pela manutenção da numeração original para facilitar a associação ao número, e o documento foi publicado como ABNT NBR 7190-7.

O Escopo em inglês da ABNT NBR 7190-7 é o seguinte:

## Scope

*This Standard specifies methods for testing cross-laminated wood panels to determine the strength and stiffness properties for loads parallel and perpendicular to the plane of the panel, resistance to delamination and shear in the glue line.*



## Projeto de estruturas de madeira

### Parte 7: Métodos de ensaio para caracterização de madeira lamelada colada cruzada estrutural

## 1 Escopo

Esta Norma especifica métodos para o ensaio de painéis de madeira laminada cruzada para determinação das propriedades de resistência e rigidez para carregamentos paralelo e perpendicular ao plano do painel, resistência a delaminação e ao cisalhamento na linha de cola.

## 2 Referências normativas

Os documentos a seguir são citados no texto de tal forma que seus conteúdos, totais ou parciais, constituem requisitos para este Documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 7190-1, *Projeto de estruturas de madeira – Parte 1: Critérios de dimensionamento*

EN 789:2004, *Timber structures – Test methods – Determination of mechanical properties of wood based panels*

## 3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ABNT NBR 7190-1 e os seguintes.

### 3.1

#### **camada de painel de madeira lamelada**

camada composta por um conjunto de lamelas no mesmo plano

### 3.2

#### **cisalhamento da camada ortogonal (*Rolling Shear*)**

efeito de cisalhamento da camada ortogonal, geralmente a camada central do painel que, ao sofrer carregamento na flexão, tem a tendência de romper por cisalhamento entre as fibras destas camadas

### 3.3

#### **colagem lateral**

colagem entre as lamelas adjacentes pertencentes a uma mesma camada

### 3.4

#### **comprimento máximo de delaminação**

delaminação de maior extensão em qualquer linha de cola individual, medida ao redor da circunferência do corpo de prova

### 3.5

#### **comprimento total de delaminação**

soma dos comprimentos de delaminação de todas as linhas de cola medidas ao redor da circunferência do corpo de prova

3.6

configuração da camada (camup)

arranjo, em seção transversal, das camadas de madeira maciça ou de painéis de madeira

NOTA Cada camada individual é composta por uma única espécie, sendo que diferentes camadas podem ser confeccionadas com espécies diferentes, podendo possuir classes de resistência distintas.

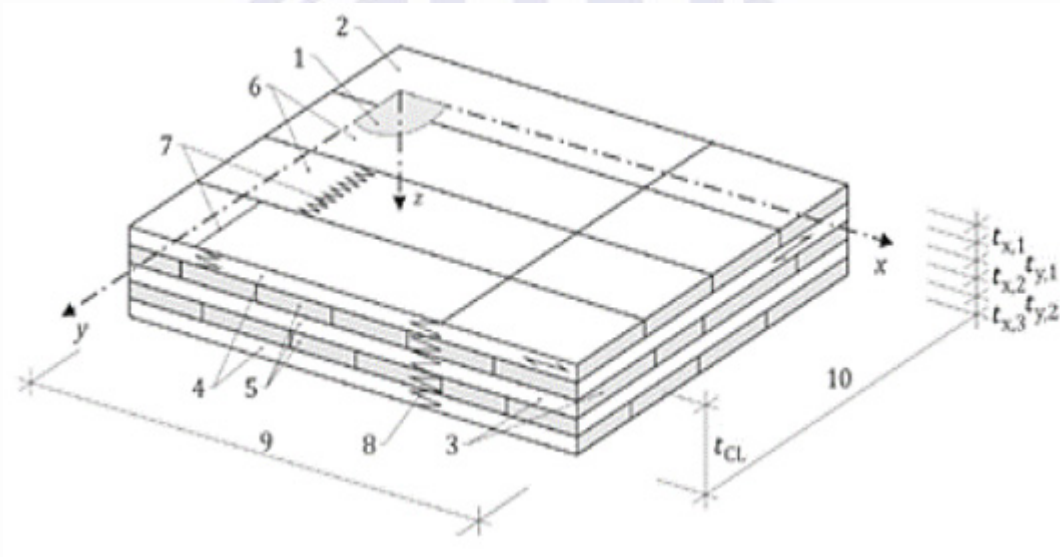
3.7

madeira lamelada colada cruzada

MLCC

painéis com propriedades estruturais confeccionados com no mínimo três camadas de lamelas de madeira, as quais ao menos três são coladas de forma ortogonal, possuindo camadas de madeira maciça ou de painéis de madeira (ver Figura 1)

NOTA Este termo é conhecido em inglês como *Cross Laminated Timber* (CLT).



Legenda

- 1 Plano do elemento
- 2 Maior lado do painel
- 3 Menor lado do painel
- 4 Camadas externas
- 5 Camadas internas
- 6 Lamelas
- 7 Emendas dentadas entre lamelas
- 8 Emendas dentadas entre painéis
- 9 Comprimento do painel
- 10 Largura  $b_{mlcc}$  quando usado na horizontal (pisos, lajes) ou altura  $h_{mlcc}$  quando usado na vertical (colunas ou paredes)

Figura 1 – Painel de madeira lamelada colada cruzada

**3.8****espessura final**

espessura da lamela após o aplainamento

**3.9****falha na madeira**

ruptura nas/entre as fibras da madeira

**3.10****painel de madeira laminada**

painéis maciços estruturais de madeira laminada,

NOTA O termo “painel de madeira laminada” é conhecido em inglês como *Laminated veneer lumber* (LVL).

**3.11****porcentagem de falha na madeira**

porcentagem da área separada de uma linha de cola que apresenta falha na madeira, em relação à área total separada

**3.12****teor de umidade médio**

média entre os teores de umidade de painéis de MLCC obtidos em no mínimo duas medições

**4 Símbolos e unidades****4.1 Índices principais**

$A$	área (mm <sup>2</sup> )
$b$	largura (mm)
$c$	comprimento do corpo de prova (mm)
$C$	força de compressão (N)
$d$	diâmetro (mm)
$Delam_{max}$	delaminação máxima (%)
$Delam_{tot}$	delaminação total (%)
$E_{local}$	módulo de elasticidade relacionado ao $I_{mlcc,liq}$ , (N/mm <sup>2</sup> )
$ES$	primeiro momento de inércia considerando o módulo de elasticidade de cada camada (N · mm)
$F$	força (N)

$f$	resistência (N/mm <sup>2</sup> )
$G$	módulo de cisalhamento (N/mm <sup>2</sup> )
$h$	altura do painel quando usado na horizontal (espessura do painel) (mm)
$I_{mlcc,liq}$	momento de inércia apenas das camadas que têm suas fibras paralelas ao vão (mm <sup>4</sup> )
$l$	vão e/ou comprimento (também $L$ ) (mm)
$l_j$	comprimento da emenda dentada ( <i>finger joint</i> ) (mm)
$m$	flexão (N)
$M$	momento (N·mm)
$M_{Rx,mlcc}$	momento resistente à flexão em x do painel mlcc (N·mm)
$M_{Ry,mlcc}$	momento resistente à flexão em y do painel mlcc (N·mm)
$n$	tensão normal (N/mm <sup>2</sup> )
$r$	raio de curvatura (mm)
$R$	resistência para forças (N para forças ou N·mm para momentos)
$S$	momento estático da superfície (mm <sup>3</sup> )
$t$	espessuras (mm)
$T$	força de tração (N)
$u$	teor de umidade (%)
$V$	força cortante (N)
$w$	deslocamento (mm)

## 4.2 Índices secundários

$a$	atual
$ap$	aparente
<i>borda</i>	borda ou lateral do painel
<i>lateral</i>	colagem de lateral entre lamelas adjacentes
$c$	compressão
<i>cam</i>	propriedade da camada
<i>cor</i>	corrigido

<i>est</i>	estimado; estimativa
<i>j</i>	propriedade da emenda dentada
<i>k</i>	valor característico
<i>lam</i>	propriedades da lamela
<i>liq</i>	área ou seção líquida
<i>local</i>	eixo local ou plano
<i>m</i>	flexão
<i>máx.</i>	máxima
<i>med</i>	valor médio
<i>mlcc</i>	propriedade do painel de MLCC
<i>ref</i>	referência
<i>t</i>	tração
<i>tor</i>	torção
<i>tor_nodal</i>	propriedade de torção ligada a uma área nodal
<i>v</i>	cisalhamento
<i>vt</i>	cisalhamento transversal ( <i>rolling shear</i> )
<i>w</i>	propriedade reduzida
<i>x (ou xx)</i>	eixo global paralelo à direção da fibra das camadas mais externas
<i>y (ou yy)</i>	eixo global ortogonal à direção da fibra das camadas mais externas
<i>z (ou zz)</i>	eixo global perpendicular ao plano do painel
<i>0</i>	eixo local paralelo às fibras
<i>90</i>	eixo local perpendicular às fibras (tanto na tangencial como na radial)
<i>090</i>	plano local medido pelo eixo local 0 e eixo 90

#### 4.3 Letras gregas minúsculas

$\alpha$	ângulo da emenda dentada
$\delta$	deslocamento transversal ao eixo da peça
$\sigma$	tensão normal

- $\rho$
- densidade
- $\tau$
- tensão tangencial

5 Denominação das características de resistência, rigidez e densidade da madeira laminada cruzada

As Figuras 2 a 4 ilustram os índices e a simbologia utilizados para descrever os cálculos nesta Norma e a Tabela 1 indica o detalhamento dos símbolos e índices.

NOTA As Seções 3 e 4 apresentam detalhes dos termos e simbologia desta Norma.

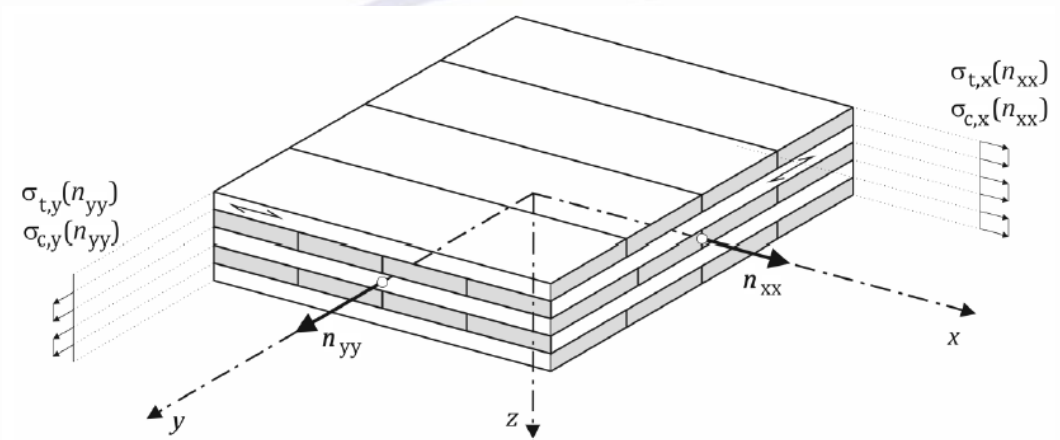


Figura 2 – Tensões normais

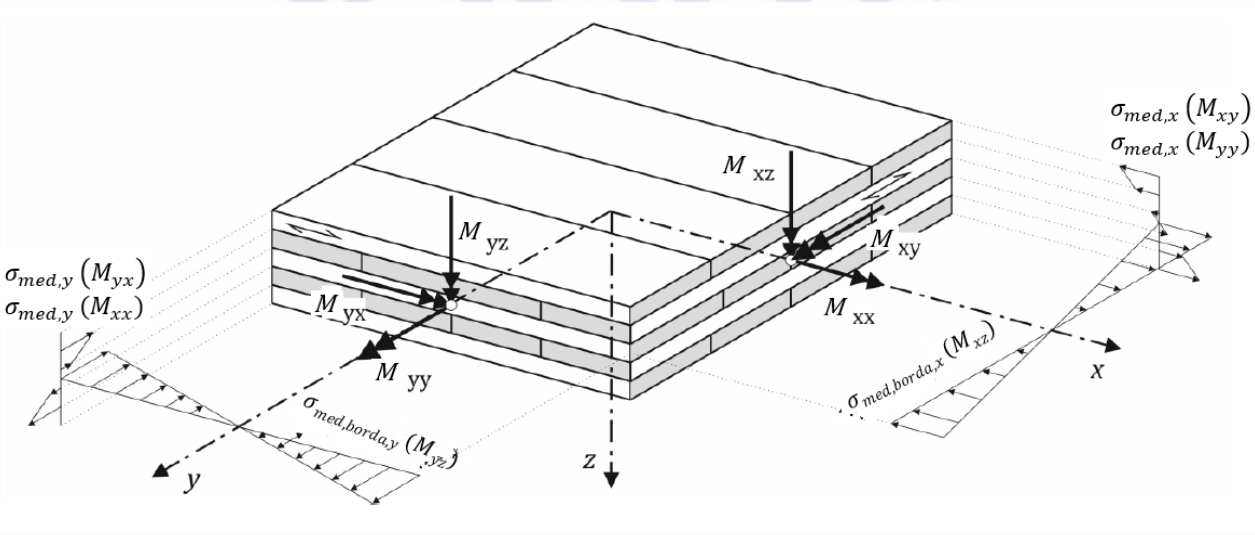
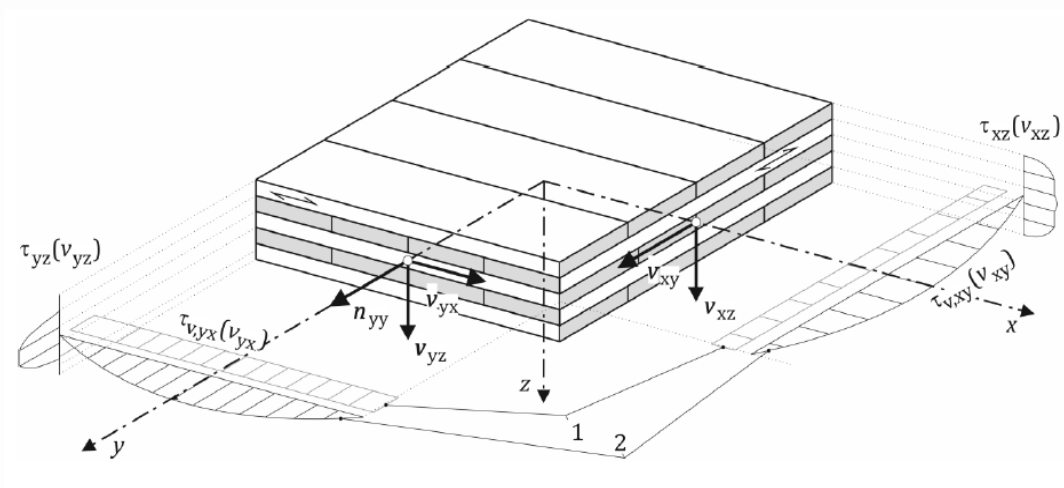


Figura 3 – Tensões de flexão



### Legenda

- 1 tensões devidas a forças constantes de cisalhamento
- 2 tensões em uma viga

**Figura 4 – Tensões de cisalhamento**

A Tabela 1 apresenta uma lista de denominações a serem usadas nos relatórios técnicos, não se trata de uma lista de características a serem ensaiadas.

**Tabela 1 – Denominação das características de resistência, rigidez e densidade da madeira laminada cruzada (continua)**

	Característica	Símbolos/índices
Resistência à flexão	Para o momento de flexão com carregamento perpendicular ao plano do painel. Valor característico.	$f_{m,x,k}$ $f_{m,y,k}$
	Para o momento de flexão com carregamento paralelo ao plano do painel. Valor característico.	$f_{m,lateral,x,k}$ $f_{m,lateral,y,k}$
Resistência à tração	Para carregamento perpendicular ao plano do painel. Valor característico.	$f_{t,z,k}$
	Para carregamento paralelo ao plano do painel. Valor característico.	$f_{t,x,k}$ $f_{t,y,k}$
Resistência à compressão	Para carregamento perpendicular ao plano do painel. Valor característico.	$f_{c,z,k}$
	Para carregamento paralelo ao plano do painel. Valor característico.	$f_{c,x,k}$ $f_{c,y,k}$
Resistência ao cisalhamento perpendicular ao plano	Direção longitudinal. Valor característico.	$f_{v,k}$
	Direção transversal ( <i>Rolling Shear</i> ). Valor característico.	$f_{vt,k}$



Tabela 1 (conclusão)

	Característica	Símbolos/índices
Resistência ao cisalhamento e torção no plano	Resistência ao cisalhamento da seção efetiva. Valor característico.	$f_{v,xy,k}$
	Resistência ao cisalhamento de torção relativo à área colada entre lamelas unidas transversalmente. Valor característico.	$f_{tor\_nodal,k}$
	Direção transversal ( <i>Rolling Shear</i> ). Valor Característico.	$f_{vt,k}$
Módulo de elasticidade na flexão	Para carregamentos perpendiculares ao plano do painel (direção z ilustrada nas Figuras 2, 3 e 4). Valor médio	$E_{z,med}$
	Para momentos fletores de carregamentos paralelos e forças normais ao plano do painel (direção x ou y ilustrada nas Figuras 2, 3 e 4). Valor médio.	$E_{x,med}$ $E_{y,med}$
Módulo de cisalhamento	Para carregamentos perpendiculares ao plano do painel. Valor médio.	$G_{xz,med}$ $G_{yz,med}$
	Para momentos fletores de carregamentos paralelos ao plano do painel. Valor médio.	$G_{xy,med}$ $G_{yx,med}$ $G_{tor,med}$
	Para o cisalhamento transversal ( <i>Rolling Shear</i> ). Valor médio.	$G_{vt,med}$
	Rigidez ao cisalhamento do painel	$(GA)_{mlcc}$
Densidade	Valor característico.	$\rho_k$
	Valor médio.	$\rho_{med}$

## 6 Ensaios para determinar as características para carregamentos perpendiculares ao plano do painel

### 6.1 Flexão

#### 6.1.1 Corpos de prova

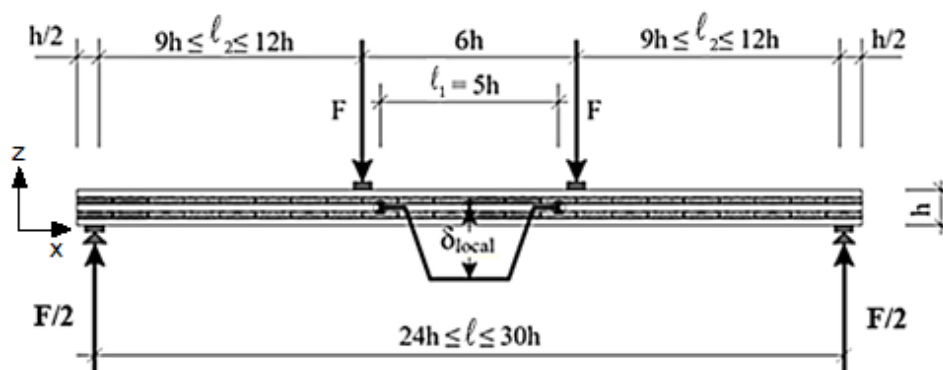
O número de corpos de prova no ensaio de flexão deve ser o seguinte:

- 15 corpos de prova por configuração de painel para larguras de até 500 mm;
- 10 corpos de prova por configuração de painel para larguras até 800 mm;
- 7 corpos de prova por configuração de painel para larguras maiores ou iguais a 800 mm.

A aplicação da carga é ilustrada na Figura 5.

NOTA A MLCC feita de camadas cruzadas compreendendo lamelas com uma relação de largura  $b$  e espessura  $t$  sendo  $b/t \geq 4$  geralmente falha na flexão e, portanto, também poderia ser ensaiada com

a configuração de carga dada na EN 408. No entanto, para MLCC feita de camadas cruzadas compreendendo laminados, com uma relação de largura e espessura de  $b/t \leq 4$ , a configuração de carga dada na Figura 5 pode ser útil para evitar a falha de cisalhamento nas camadas transversais (*Rolling Shear*).



### Legenda

- $h$  altura do corpo de prova (espessura do painel)
- $\ell$  vão do corpo de prova
- $\ell_1$  medida para medição do  $\delta_{\text{local}}$
- $\ell_2$  medida da distância entre os pontos de apoio e carregamento
- $\delta_{\text{local}}$  deslocamento medido ao longo do comprimento de uma região livre de tensões de cisalhamento

**Figura 5 – Ensaio de flexão em painéis de MLCC com forças perpendiculares ao plano**

### 6.1.2 Determinação da rigidez efetiva à flexão perpendicular ao plano $(EI)_{zx, zy}$

Os corpos de prova devem ser simetricamente carregados em dois pontos, de acordo com a Figura 5. Se o corpo de prova e o equipamento não permitirem que essas condições sejam alcançadas exatamente, a distância entre os pontos de carga e os suportes ( $\ell_2$ ) deve ser alterada em um valor não superior a 1,5 vez a espessura da peça, e o vão e o comprimento do corpo de prova podem ser alterados em uma quantidade não superior a três vezes a profundidade da peça, mantendo a simetria do ensaio.

O corpo de prova deve ser simplesmente apoiado. Pequenas chapas de aço de comprimento não superior à metade da espessura do corpo de prova podem ser inseridas entre o corpo de prova e os roletes de suportes e carregamento para minimizar o esmagamento local.

A carga deve ser aplicada a uma taxa constante. A taxa de movimento do atuador de carga não pode ser superior a  $(0,003h)$  mm/s.

O máximo carregamento aplicado não pode exceder  $0,4 \cdot F_{\text{máx, est}}$ .

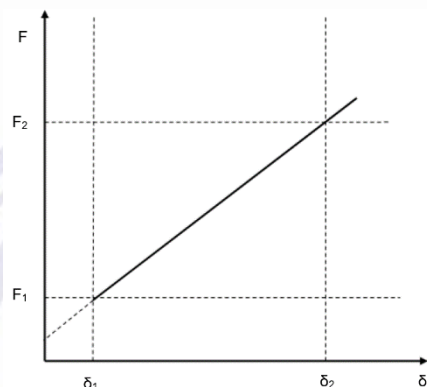
O máximo carregamento estimado ( $F_{\text{máx, est}}$ ) do produto em ensaio deve ser obtido a partir de ensaios prévios ou a partir da capacidade de resistência à tração das emendas dentadas de topo (*finger joints*), resistência à compressão das lamelas externas, ou resistência ao cisalhamento (*Rolling shear*) das camadas transversais.

O equipamento de leitura de deslocamentos deve ser capaz de mensurar forças com resolução de 1 % da carga aplicada ao corpo de prova ou para forças inferiores a 10 % da força máxima aplicada, com resolução de 0,1 % da carga máxima aplicada.

O deslocamento  $\delta$  deve ser tomado como a média das medições em ambas as faces laterais no eixo neutro e deve ser medida no centro de um comprimento ( $\lambda_1$ ) de cinco vezes a altura ( $h$ ) do painel (ver Figura 5).

O equipamento de leitura deve ser capaz de medir um deslocamento com resolução de 1 % ou, para deslocamentos menores que 2 mm, com precisão de 0,02 mm.

Utilizar a seção do diagrama de força x deslocamento entre  $0,1 \cdot F_{\text{máx.,est}}$  e  $0,4 \cdot F_{\text{máx.,est}}$  para análise de regressão (ver Figura 6).



#### Legenda

$F$  força

$\delta$  deslocamento

**Figura 6 – Diagrama de força x deslocamento com o intervalo na fase de deformação elástica**

Deve-se determinar no gráfico do ensaio (ver Figura 6) o maior trecho que apresente um coeficiente de correlação de 0,99 ou maior, assegurando que este trecho esteja entre o intervalo mínimo de  $0,2 \cdot F_{\text{máx.,est}}$  a  $0,3 \cdot F_{\text{máx.,est}}$ . Calcular o produto de rigidez efetiva à flexão do MLCC na direção  $i = x$  ou  $i = y$ , a partir da seguinte equação:

$$(EI)_{\text{mlcc,local,liq, [zy ou zx]}} = E_{\text{local}} \cdot I_{\text{mlcc,liq}} = \frac{\ell_2 \cdot \ell_1^2 (F_2 - F_1)}{16(\delta_2 - \delta_1)}$$

onde

$F_2 - F_1$  é o incremento de carregamento na linha de regressão com um coeficiente de correlação de 0,99 ou maior;

$\delta_2 - \delta_1$  é o incremento de deslocamento correspondente a  $F_2 - F_1$ ;

$E_{\text{local}}$  é o módulo de elasticidade relacionado ao  $I_{\text{mlcc,liq}}$ ;

$I_{\text{mlcc,liq}}$  é o momento de inércia apenas das camadas que têm suas fibras paralelas ao vão;

$\ell_1$  é a distância entre os pontos de fixação dos medidores;

$\ell_2$  é a distância horizontal entre os pontos de apoio e de carregamento mais próximos.

### 6.1.3 Propriedades de resistência e rigidez do painel MLCC

As propriedades de resistência à flexão característica paralela às fibras  $f_{m,x,mlcc,k}$  e  $f_{m,y,mlcc,k}$  e o módulo de elasticidade médio paralelo às fibras  $E_{x,mlcc,med}$  e  $E_{y,mlcc,med}$  do painel de MLCC devem estar associados à seção transversal bruta do painel, expressos em Newtons por milímetro quadrado ( $N/mm^2$ ).

Os momentos resistentes à flexão em x e y do painel MLCC,  $M_{R,x,mlcc,k}$  e  $M_{R,y,mlcc,k}$ , e as rigidezes efetivas média  $EI_{m,x,mlcc,k}$  e  $EI_{m,y,mlcc,k}$  devem estar associadas à seção transversal bruta do painel de MLCC, expressas em Newtons vezes metro ( $N \cdot m$ ) e Newtons vezes milímetro quadrado ( $N \cdot mm^2$ ), respectivamente.

NOTA O índice x se refere ao eixo paralelo às fibras das camadas de madeira ou camadas externas, conforme orientação apresentada nas Figuras 1 a 4.

## 6.2 Rigidez ao cisalhamento do painel, resistência ao cisalhamento transversal (*Rolling Shear*) baseado em ensaios de flexão

A quantidade de corpos de prova deve ser conforme 6.1.1.

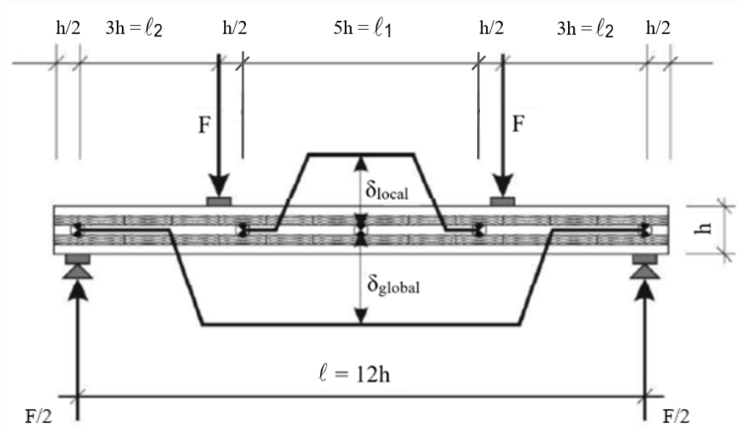
A configuração do ensaio e a aplicação da carga podem ser feitas conforme as Figura 7 e Figura 8, usando a taxa de carregamento igual à taxa em 6.1.2 para os seguintes casos:

- determinação da resistência e rigidez ao cisalhamento e;
- determinação da força de resistência ao cisalhamento.

O cisalhamento transversal (*rolling shear*) do painel de madeira lamelada colada cruzada deve ser dado pelo módulo de cisalhamento transversal, expresso como  $G_{vt}$ , em N, das camadas, na respectiva direção do vão e do modelo do painel. A rigidez de cisalhamento do painel  $(GA)_{zx,mlcc}$  ou  $(GA)_{yx,mlcc}$  é expressa em Newton vezes milímetro quadrado ( $N \cdot mm^2$ ).

NOTA A determinação do módulo de cisalhamento  $G_{vt,090}$  não leva a resultados precisos.

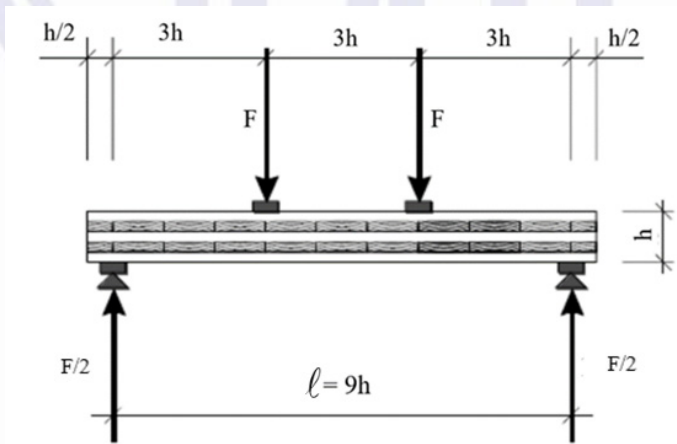
A força de resistência ao cisalhamento transversal do painel de madeira lamelada colada deve ser expressa como  $f_{vt}$  em  $N/mm^2$  e a força cortante resistente expressa por  $V_{R,zx,mlcc}$  ou  $V_{R,yz,mlcc}$ , em  $N \cdot mm$ .



**Legenda**

- $h$  altura do corpo de prova
- $\ell$  vão do corpo de prova
- $\ell_1$  medida para medição do  $\delta_{\text{local}}$
- $\ell_2$  distância entre os pontos de apoio e carregamento
- $\delta_{\text{local}}$  deslocamento medido ao longo do comprimento do cisalhamento (área livre de tensão)
- $\delta_{\text{global}}$  deslocamento medido ao longo de todo o vão

**Figura 7 – Determinação da resistência e rigidez ao cisalhamento transversal (rolling shear)**



**Legenda**

- $h$  altura do corpo de prova
- $\ell$  vão do corpo de prova
- $\ell_1$  medida para medição do  $\delta_{\text{local}}$
- $\ell_2$  distância entre os pontos de apoio e carregamento
- $\delta_{\text{local}}$  deslocamento medido ao longo do comprimento do cisalhamento (área livre de tensão)
- $\delta_{\text{global}}$  deslocamento medido ao longo de todo o vão

**Figura 8 – Determinação somente da força de resistência ao cisalhamento transversal (rolling shear)**

Os ensaios devem ser feitos com corpos de prova com as camadas mais externas com fibras paralelas ao vão. A rigidez efetiva aparente é calculada pela seguinte equação:

$$(EI)_{\text{mlcc,ap,liq}} [\text{zy ou zx}] = \frac{3 \cdot \ell_2 \cdot \ell^2 - 4 \cdot \ell_2^3}{48} \cdot \frac{F_2 - F_1}{\delta_2 - \delta_1}$$

onde

$F_2 - F_1$  é o incremento de carregamento na linha de regressão com um coeficiente de correlação de 0,99 ou maior, expresso em newtons (N);

$\delta_2 - \delta_1$  é o incremento de deslocamento correspondente a  $F_2 - F_1$ , expresso em milímetros (mm);

$E_{\text{local}}$  é o módulo de elasticidade relacionado ao  $I_{\text{mlcc,liq}}$ , expresso em Newtons por milímetros quadrados (N/mm<sup>2</sup>);

$I_{\text{mlcc,liq}}$  é o momento de inércia apenas das camadas que têm suas fibras paralelas ao vão;

$\ell$  é o vão livre;

$\ell_2$  é a distância horizontal entre os pontos de apoio e de carregamento mais próximos (3 h).

O cálculo da rigidez ao cisalhamento do painel é feito utilizando a seguinte equação:

$$(GA)_{\text{mlcc}} [\text{zy ou zx}] = k \cdot \sum_{i=1}^n (G_i \cdot A_i) = \frac{24 \cdot (EI)_{\text{mlcc,local,liq}} \cdot (EI)_{\text{mlcc,ap,liq}}}{(3 \cdot \ell^2 - 4 \cdot \ell_2^2) \cdot ((EI)_{\text{mlcc,local,liq}} - (EI)_{\text{mlcc,ap,liq}})}$$

Para painéis de cinco camadas com espessuras iguais nas camadas, a expressão  $\sum_{i=1}^n (G_i \cdot A_i)$  pode ser expressa conforme a seguinte equação, com  $k=1$ :

$$(GA)_{\text{mlcc}} = \sum_{i=1}^n (G_i \cdot A_i) = b \cdot t_{\text{cam}} (3 \cdot G_0 + 2 \cdot G_{\text{vt}})$$

onde

$(EI)_{\text{mlcc,local,liq}}$  é a rigidez efetiva à flexão do MLCC;

$(EI)_{\text{mlcc,ap,liq}}$  é a rigidez efetiva aparente à flexão do MLCC;

$\ell$  é o vão livre;

$\ell_2$  é a distância horizontal entre os pontos de apoio e os pontos de carregamento mais próximos (3h).

$t_{\text{cam}}$  é a espessura da camada;

$b$  é a largura do painel;

$G_{\text{vt}}$  é o módulo de cisalhamento transversal (*rolling shear*);

$G_0$  é o módulo de elasticidade transversal referente ao cisalhamento paralelo às fibras (módulo de cisalhamento paralelo às fibras);

$k$  é o fator de cisalhamento que deve ser 0,25 para painéis de 3, 5 e 7 camadas;



O cálculo da resistência ao cisalhamento e da resistência ao cisalhamento transversal perpendicular ao plano é feito utilizando a seguinte equação:

$$f_v = \frac{F_{\max}}{2} \cdot \frac{(ES)_{\text{mlcc},v,\text{liq}}}{(EI)_{\text{mlcc},\text{total},\text{liq}}}$$

$$f_{vt} = \frac{F_{\max}}{2} \cdot \frac{(ES)_{\text{mlcc},vt,\text{liq}}}{b \cdot (EI)_{\text{mlcc},\text{total},\text{liq}}}$$

onde

$(ES)_{\text{mlcc},v,\text{liq}}$  é o primeiro momento de inércia considerando o módulo de elasticidade de cada camada.

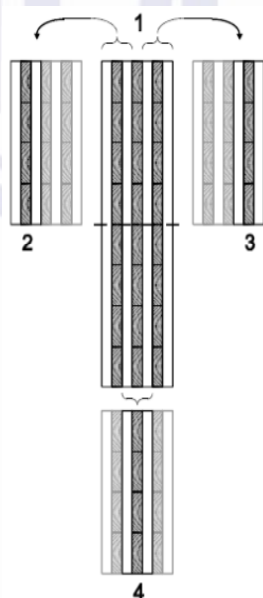
### 6.3 Resistência e rigidez ao cisalhamento transversal derivada do ensaio de cisalhamento (método alternativo)

#### 6.3.1 Corpos de prova

Para o ensaio de resistência e rigidez ao cisalhamento transversal derivada do ensaio de cisalhamento (método alternativo), devem ser ensaiados 20 corpos de prova por modelo de painel.

Alternativamente em 6.2, o valor da resistência e rigidez ao cisalhamento pode ser determinado pela EN 789:2004, 11.5.2.

A largura do corpo de prova deve ser de pelo menos 100 mm. O esquema de corte dos corpos de prova é apresentado na Figura 9.

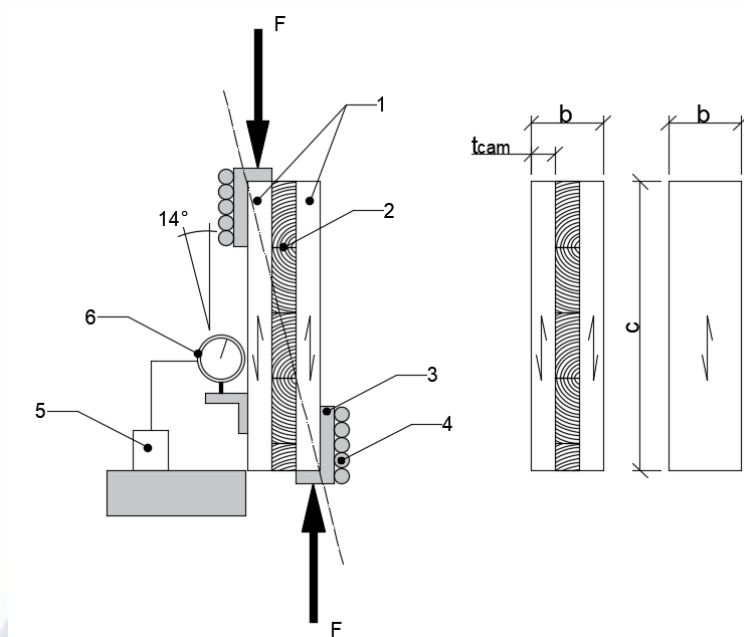


**Figura 9 – Esquema de corte para corpos de prova de painéis de MLCC contendo mais do que três camadas**

Alternativamente na EN 789:2004, 11.3, a configuração do ensaio pode ser feita conforme ilustrado na Figura 10.

**NOTA** Em contraste à EN 789, as forças normais podem ser diretamente transferidas da camada mais externa para a interna sem usar pratos de metal colados ao corpo de prova.



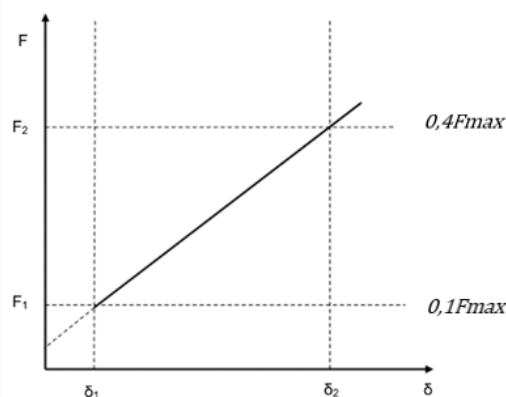


#### Legenda

- 1 camadas longitudinais do corpo de prova
- 2 camadas cruzadas do corpo de prova
- 3 cutelos de aço para aplicação da carga
- 4 suportes livres de atrito
- 5 base magnética para relógio comparador ou transdutor elétrico de deslocamento (lvdt)
- 6 relógio comparador, transdutor elétrico de deslocamento (lvdt) ou outro dispositivo para medição do deslocamento

**Figura 10 – Ensaio alternativo de cisalhamento transversal (*rolling shear*) para madeira lamelada colada cruzada**

A rigidez e a resistência ao cisalhamento transversal devem ser calculadas de acordo com a EN 789, sendo a velocidade de carregamento ajustada para o ensaio ser realizado na faixa de 300 s ( $\pm 120$  s). Os resultados dos ensaios descritos em 6.2 e nesta subção podem ser considerados equivalentes. Recomenda-se ensaiar 20 corpos de prova de cada modelo de painel neste ensaio. Utilizar diagrama de força x deslocamento entre  $0,1 \cdot F_{\text{máx.,est}}$  e  $0,4 \cdot F_{\text{máx.,est}}$  para o cálculo do módulo de cisalhamento direção transversal (ver Figura 11).



### Legenda

$F$  força

$\delta$  deformação

**Figura 11 – Diagrama de força x deslocamento com o intervalo na fase de deformação elástica**

O valor da resistência ao cisalhamento perpendicular ao plano na direção transversal é calculado pela seguinte equação.

$$f_{vt} = \frac{F_{\max} \cdot \cos 14^\circ}{b \cdot c}$$

onde

$F_{\max}$  é a força máxima de ruptura, expressa em Newtons (N);

$b$  é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$c$  é o comprimento do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

O valor do módulo de cisalhamento direção transversal é calculado pela seguinte equação.

$$G_{vt} = \frac{(F_2 - F_1) \cdot \cos 14^\circ \cdot t_{cam}}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot b \cdot c}$$

onde

$F_1$  e  $F_2$  são as forças correspondentes a 10% e 40% da força máxima, respectivamente, expressas em Newtons (N);

$\delta_1$  e  $\delta_2$  são os deslocamentos correspondentes a 10 % e 40 % da força máxima, respectivamente, expressos em milímetros (mm);

$t_{cam}$  é a espessura da camada;

$b$  é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$c$  é o comprimento do corpo de prova, expresso em milímetros (mm);

### 6.3.2 Procedimento de ensaio

**6.3.2.1** As medidas dos lados do corpo de prova devem ser feitas com precisão de 0,1 mm.

**6.3.2.2** Para determinação do módulo de elasticidade, podem ser utilizados medidores mecânicos de deformação, com sensibilidade 0,001 mm, devidamente fixados no corpo de prova, ou pode-se usar extensômetros. As medidas das deformações específicas devem ser feitas com precisão mínima de 50  $\mu\text{m/m}$ .

**6.3.2.3** Para o ajuste do corpo de prova à máquina de ensaio, deve-se utilizar uma rótula entre o atuador e o corpo de prova.

**6.3.2.4** Para determinação da  $F_{\text{máx.}}$ , deve-se realizar um ensaio destrutivo de um corpo de prova aleatório selecionado da mesma amostra a ser ensaiada.

**6.3.2.5** Conhecida a  $F_{\text{máx.}}$ , o carregamento deve ser aplicado de acordo com o diagrama de carregamento da Figura 1.

**6.3.2.6** Para ensaios com instrumentação baseada em extensômetros mecânicos fixados no corpo de prova, as cargas devem ser registradas até 70 % da força estimada para a ruptura. Em seguida, retira-se a instrumentação e eleva-se a força até a ruptura do corpo de prova.

## 7 Ensaaios para determinar as características para carregamentos paralelos ao plano do painel

### 7.1 Flexão

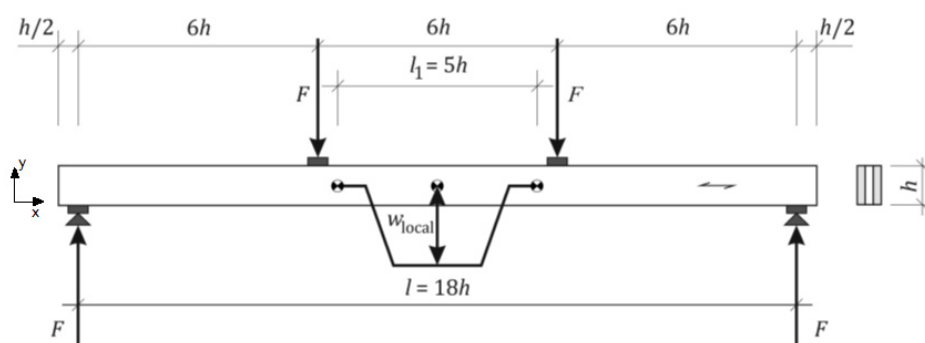
#### 7.1.1 Corpos de prova

O número de corpos de prova deste ensaio deve ser conforme a seguir:

- a) 12 corpos de prova para seções transversais compostas de três ou quatro camadas;
- b) 10 corpos de prova para seções transversais compostas de cinco ou seis camadas;
- c) 7 corpos de prova para seções transversais compostas de sete ou mais camadas.

A configuração para aplicação da carga é ilustrada na Figura 12 para painéis de MLCC formados por camadas de madeira sem colagem lateral e sem emendas de topo. Os espaços (*gaps*) que vierem a existir entre as camadas laterais sem colagem ou as emendas de topo (*finger joint*) devem ser posicionadas na região da linha neutra do corpo de prova.

Os resultados do ensaio devem ser dados para a seção transversal bruta ou somente para as camadas que estão paralelas ao vão (seção transversal líquida).



### Legenda

$h$  altura do corpo de prova

$l$  vão do corpo de prova

$l_1$  medida para medição do  $w_{local}$

$w_{local}$  deslocamento medida ao longo do comprimento do cisalhamento – (área livre de tensão de cisalhamento)

**Figura 12 – Ensaio de flexão para painel de madeira lamelada colada cruzada com carregamento paralelo ao plano do painel**

#### 7.1.2 Determinação da rigidez à flexão perpendicular ao plano $(EI)_{xy}$

O cálculo da rigidez para carregamento paralelo ao plano do painel (carregamento na lateral do painel), deve ser semelhante a 6.1.2, utilizando a seguinte equação

$$(EI)_{mlcc, borba, liq, [xy]} = \frac{\ell_2 \cdot \ell_1^2 (F_2 - F_1)}{16(\delta_2 - \delta_1)}$$

onde

$F_2 - F_1$  é o incremento de carregamento na linha de regressão com um coeficiente de correlação de 0,99 ou maior;

$\delta_2 - \delta_1$  é o incremento de deslocamento correspondente a  $F_2 - F_1$ ;

$E_{borda}$  é o módulo de elasticidade relacionado ao  $l_{mlcc, borda}$ ;

$l_{mlcc, borda}$  é o momento de inércia do painel;

$\ell_1$  é a distância entre os pontos de fixação dos medidores;

$\ell_2$  é a distância horizontal entre os pontos de apoio e de carregamento mais próximos.

#### 7.2 Rigidez ao cisalhamento na flexão com carregamento paralelo ao plano do painel

Com relação ao número de corpos de prova, deve-se aplicar 7.1. A configuração para aplicação da carga deve ser a mesma ilustrada na figura 12, sem colagem lateral e sem emendas de topo.

O cálculo da rigidez ao cisalhamento na flexão com carregamento paralelo ao plano do painel é feito utilizando a seguinte equação, semelhante ao item 6.1.3:

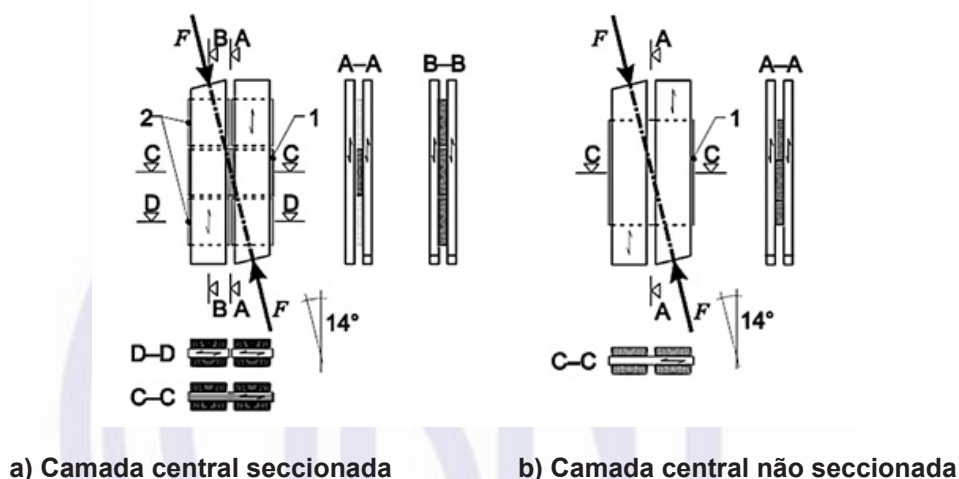
$$(GA)_{mlcc [xy]} = k \cdot \sum_{i=1}^n (G_i \cdot A_i) = \frac{24 \cdot (EI)_{mlcc, borda, liq} \cdot (EI)_{mlcc, ap, liq}}{(3 \cdot \ell^2 - 4 \cdot \ell_2^2) \cdot ((EI)_{mlcc, borda, liq} - (EI)_{mlcc, ap, liq})}$$

### 7.3 Cisalhamento em uma camada – Seção transversal líquida

Para cada combinação de espessura e largura das camadas e classificação mecânica das lamelas, 20 corpos de prova devem ser ensaiados.

A configuração para aplicação da carga e para os corpos de prova é ilustrada na Figura 13.

Os corpos de prova devem ter camadas com folgas (espaços) mais largas (pelo menos 30 mm). As lamelas devem ter a menor largura produzida pelo fabricante. As espessuras das camadas devem ser as maiores a serem produzidas pelo fabricante.



#### Legenda

- 1 lamela cruzada inteira
- 2 lamela cruzada seccionada

**Figura 13 – Cisalhamento em uma camada – Seção transversal líquida**

A resistência ao cisalhamento de uma camada é indicada por  $f_{v,xy,cam}$  expresso em Newtons por milímetros quadrados (N/mm<sup>2</sup>). O cálculo é feito pela seguinte equação sendo o valor o menor entre os casos da Figura 13-a) e Figura 13-b).

$$f_{v,xy,cam} = \frac{F_{max} \cdot \cos 14^\circ}{A}$$

onde

$F_{max}$  é a força máxima de ruptura, expressa em Newtons (N);

$A$  é a área total colada, expressa em milímetros (mm<sup>2</sup>);

### 7.4 Cisalhamento nas linhas de cola entre camadas – Cisalhamento na torção

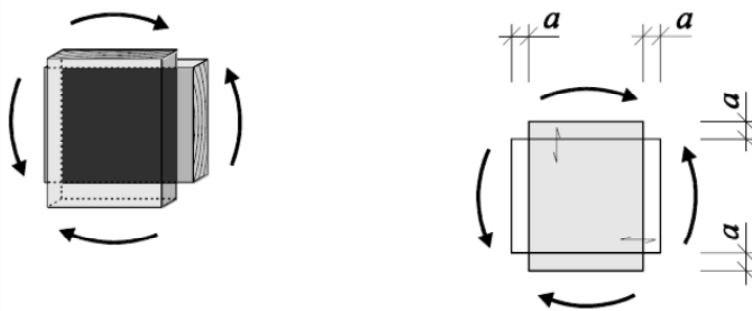
Para cada combinação de espessura e largura das camadas e classificação mecânica das lamelas, 20 corpos de prova devem ser ensaiados.

A umidade dos corpos de prova deve ser a umidade de equilíbrio, conforme ABNT NBR 7190-1.

Os resultados do ensaio devem ser dados para a seção transversal bruta ou somente para as camadas que estão paralelas ao vão (seção transversal líquida).

As espessuras das camadas devem ser as maiores a serem produzidas pelo fabricante e a largura das camadas devem ser as menores a serem produzidas pelo fabricante.

De acordo com a Figura 14, a sobreposição de cada camada de madeira ou camada feita de painéis de madeira deve ser de 30 mm. O corpo de prova deve ficar livre de qualquer restrição que impeça a rotação no eixo de rotação.



a) Esquema tridimensional

b) Ilustração da sobreposição para cada camada

#### Legenda

a sobreposição para cada camada

**Figura 14 – Cisalhamento de torção nas linhas de cola entre as camadas.**

O valor da resistência ao cisalhamento de torção relativo à área colada entre lamelas unidas transversalmente  $f_{\text{tor\_nodal,k}}$  é dado em N/mm<sup>2</sup>, e é calculado pelo momento de inércia polar referente as superfícies coladas.

## 8 Ensaio de delaminação na linha de cola

### 8.1 Princípio

Este método de ensaio consiste em um gradiente no teor de umidade introduzido na madeira para acumular tensões internas, resultando em tensões de tração perpendiculares às linhas de cola. A qualidade inadequada da colagem resulta em delaminação da linha de cola.

### 8.2 Aparelhagem

#### 8.2.1 Autoclave

Utiliza-se uma autoclave que suporte, de forma segura, pressão de no mínimo 600 kPa (pressão absoluta de 700 kPa), e vácuo de no mínimo 85 kPa (pressão absoluta de 15 kPa), sendo equipada com bombas ou aparelhos equivalentes, que proporcionem pressão de ao menos 600 kPa (pressão absoluta de 700 kPa), e vácuo de no mínimo 85 kPa (pressão absoluta de 15 kPa).

#### 8.2.2 Estufa ou Duto de secagem

Utiliza-se um duto de secagem onde o ar circule a uma velocidade entre 2 m/s e 3 m/s, a uma temperatura entre 65 °C e 75 °C, e umidade relativa entre 8 % e 10 %.



### 8.2.3 Balança

A balança deve ser capaz de determinar a massa com tolerância de  $\pm 5$  g.

### 8.2.4 Formão metálico e martelo

O formão metálico e o martelo devem ser capazes de separar as linhas de cola.

## 8.3 Amostragem e preparação dos corpos de prova

As amostras devem ser representativas da produção e devem ser extraídas dos painéis de MLCC em formato cilíndrico com diâmetro de  $(95 \pm 5)$  mm ou em formato aproximadamente quadrado com dimensões laterais de  $(100 \pm 5)$  mm e área da superfície superior de no mínimo 10 000 mm<sup>2</sup>. A espessura dos corpos de prova é a espessura do painel do qual foram extraídos.

## 8.4 Procedimento

### 8.4.1 Considerações gerais

Antes de submeter os corpos de prova aos ciclos de ensaio, deve-se medir o comprimento total das linhas de cola. Submete-se então os corpos de prova aos ciclos de ensaio conforme 8.4.3.

### 8.4.2 Medição e avaliação das delaminações

#### 8.4.2.1 Medição da delaminação

A medição da delaminação e a avaliação do resultado devem ser realizadas em até 1 h depois de finalizado o procedimento de secagem. A delaminação total da linha de cola deve ser medida em milímetros, com o uso de paquímetro ou outro instrumento com mesma precisão.

No caso de dúvidas quanto à existência de separação na linha de cola, convém utilizar um calibrador de folga (*feeler gauge*) de 0,08 mm a 0,1 mm. Recomenda-se, ainda, o uso de uma lupa com ampliação de dez vezes e iluminação intensa para determinar se a delaminação é válida ou não.

#### 8.4.2.2 Aberturas na linha de cola que devem ser consideradas como delaminações

As aberturas na linha de cola descritas a seguir devem ser consideradas como delaminações:

- a) fissura consistente dentro da camada do adesivo;
- b) falha na linha de cola precisamente entre a camada de adesivo e o substrato em madeira;
- c) fibra de madeira incorporada na camada de adesivo;
- d) falha na madeira que está invariavelmente dentro da primeira ou segunda camada de células além da camada de adesivo, na qual o caminho da fratura não é influenciado pelo ângulo da fibra e por anéis de crescimento da estrutura. É caracterizada por uma aparência fina e aveludada das fibras da madeira que se localizam na lateral da interface entre a superfície da madeira e a camada de adesivo.



#### 8.4.2.3 Aberturas na linha de cola que não podem ser consideradas como delaminações

As aberturas na linha de cola descritas a seguir não podem ser consideradas como delaminações:

- a) falha consistente na madeira que está invariavelmente afastada em mais de duas camadas de células da camada de adesivo, na qual o caminho da fissura é fortemente influenciado pelo ângulo das fibras e pelos anéis de crescimento da estrutura;
- b) aberturas isoladas na linha de cola que possuem menos de 2,5 mm de comprimento e se localizam afastadas a no mínimo 5 mm da delaminação mais próxima;
- c) aberturas na linha de cola que são encontradas ao longo de nós ou bolsas de resina localizadas nas laterais da linha de cola, ou aberturas na linha de cola que são causadas por nós ocultos na linha de cola. Quando se suspeita que uma abertura na linha de cola é ocasionada pela presença de um nó, esta deve ser aberta com um formão e um martelo e inspecionada, verificando-se a presença de nós ocultos. Caso a abertura da linha de cola tenha sido ocasionada por um nó oculto, esta não pode ser considerada como delaminação.

#### 8.4.2.4 Critério para áreas coladas após separação

Uma falha consistente na madeira é caracterizada por uma fissura que está invariavelmente afastada da camada de adesivo em mais de duas camadas de células, na qual a área fissurada é fortemente influenciada pelo ângulo da fibra e anéis de crescimento da estrutura.

Aberturas na linha de cola encontradas ao longo de nós ou bolsas de resina devem ser consideradas como áreas de falha da madeira.

#### 8.4.3 Execução do ensaio

Deve-se colocar os corpos de prova na autoclave e introduzir água a uma temperatura compreendida entre 10 °C e 20 °C em quantidade suficiente para que os corpos de prova estejam totalmente submersos.

Separar os corpos de prova de modo que seus topos estejam livremente expostos à água, aplicar um vácuo entre 70 kPa e 85 kPa (por exemplo, uma pressão absoluta entre 15 kPa e 30 kPa a nível do mar) e manter por 30 min. Liberar o vácuo e aplicar uma pressão entre 500 kPa e 600 kPa (entre 600 kPa e 700 kPa de pressão absoluta), mantida por 2 h.

Em seguida, secar os corpos de prova por um período de aproximadamente 10 h a 15 h em uma estufa ou duto de secagem como descrito em 8.2.2. Durante a secagem, os corpos de prova devem estar distanciados entre si em pelo menos 50 mm e posicionados com os topos paralelos ao fluxo de ar.

O tempo real de secagem deve ser controlado pela massa dos corpos de prova. A delaminação deve ser observada e registrada quando a massa do corpo de prova alcançar um valor compreendido entre 100 % e 110 % da massa original. O tempo de secagem deve ser registrado.

### 8.5 Expressão dos resultados

#### 8.5.1 Considerações gerais

Calcula-se a delaminação para cada corpo de prova.

### 8.5.2 Delaminação total

A delaminação total do corpo de prova é calculada conforme a seguinte equação:

$$Delam_{total} = 100 \frac{\ell_{tot,delam}}{\ell_{tot,linhacola}} \text{ em \%}$$

$\ell_{tot,delam}$  é o comprimento total das delaminações, expresso em milímetros (mm);

$\ell_{tot,linhacola}$  é a soma dos perímetros de todas as linhas de cola do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

### 8.5.3 Máxima delaminação

A máxima delaminação de uma linha de cola é calculada pela equação a seguir.

$$Delam_{max} = 100 \frac{\ell_{máx,delam}}{\ell_{linhacola}} \text{ em \%}$$

$\ell_{máx,delam}$  é o comprimento máximo da delaminação, expresso em milímetros (mm);

$\ell_{linhacola}$  é o perímetro da linha de cola em que a delaminação se apresenta, expresso em milímetros (mm).

### 8.5.4 Porcentagem de falha na madeira

A porcentagem de falha de madeira de uma área de cola dividida deve ser tomada como a razão da área com falhas de madeira de acordo com 8.4.2.4 e a área colada antes da divisão.

## 9 Ensaios de cisalhamento na linha de cola

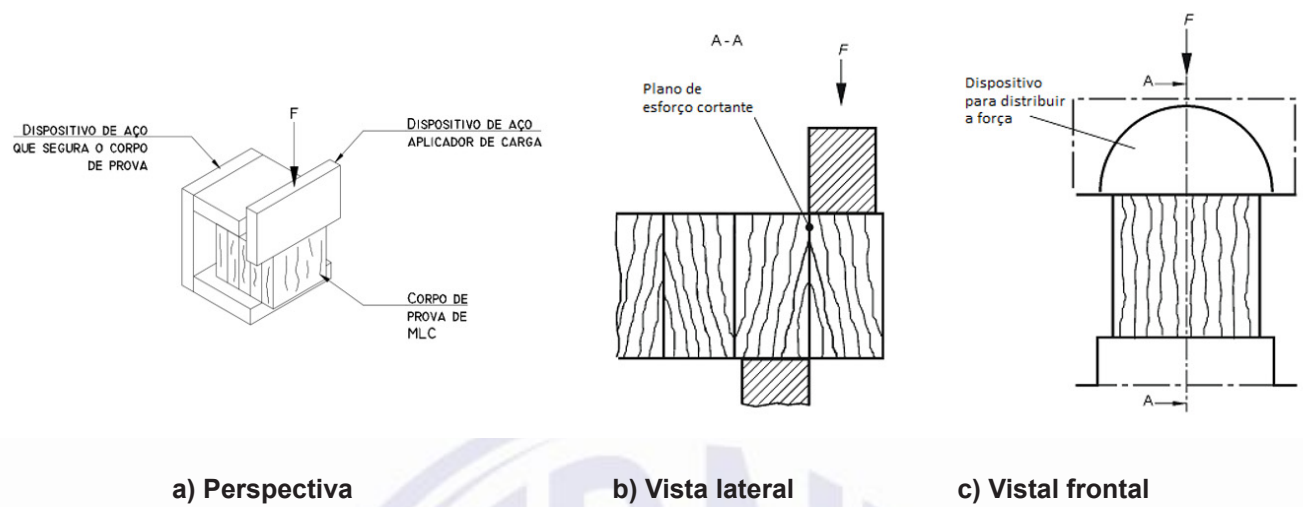
### 9.1 Princípio

Este método de ensaio consiste na determinação da resistência ao cisalhamento nas linhas de cola da madeira lamelada colada cruzada sob um carregamento crescente, através da aplicação de uma tensão de cisalhamento na linha de cola até que ocorra uma falha.

### 9.2 Aparelhagem

**9.2.1** Máquina de ensaio de compressão: apta para medir as forças de ruptura e aplicar a força a uma velocidade constante, de maneira que a ruptura se alcance em um tempo mínimo de 20 s. A precisão da medição da carga máxima deve ser superior a  $\pm 3 \%$  dessa carga.

**9.2.2** Dispositivo para aplicar a força de corte,: que transmite a força ao corpo de prova e deve estar articulado de tal forma que a força atue sobre a superfície transversal do corpo de prova com uma distribuição uniforme de pressão em toda a largura do corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 15.



**Legenda**

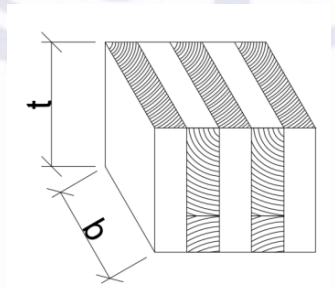
- 1 dispositivo que distribuí a carga (a parte cilíndrica ajuda no ajuste ao corpo de prova)
- 2 plano da linha de cola que recebe o esforço cortante
- 3 corpo de prova a ser fixado no equipamento e deslocado para frente conforme necessário

**Figura 15 – Dispositivo para o ensaio de cisalhamento na linha de cola de MLCC**

**9.3 Corpo de prova**

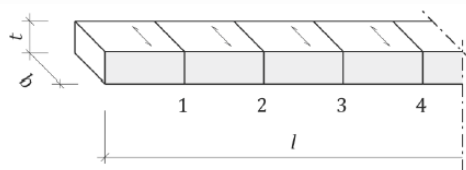
**9.3.1 Generalidades**

Deve-se ter cuidado especial na preparação dos corpos de prova para assegurar que as superfícies carregadas sejam lisas e paralelas umas as outras e perpendiculares à direção da linha de cola (ver Figura 16).



**Figura 16 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola para MLCC**

Os corpos de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola das lamelas coladas lateralmente devem ser conforme a Figura 17.



### Legenda

$b$  largura: dimensões 40 mm a 50 mm

$\ell$  comprimento

$t$  espessura da camada de madeira

1 a  $n$  número de colagens laterais dentro da amostra.

**Figura 17 – Corpo de prova para ensaio de cisalhamento na linha de cola para colagens laterais**

### 9.3.2 Amostragem

As amostras devem ser representativas da produção. Os corpos de prova de painéis com lamelas com colagens laterais estruturais devem ter como comprimento a profundidade da seção transversal da camada de madeira. Pelo menos duas linhas de cola em cada camada de madeira devem ser ensaiadas.

### 9.3.3 Marcação dos corpos de prova

Cada corpo de prova deve ser marcado com uma identificação durável com informações sobre o ensaio realizado.

### 9.3.4 Cálculo da resistência ao cisalhamento da linha de cola

O cálculo da resistência ao cisalhamento da linha de cola é feito por meio da seguinte equação.

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,max}}{b \cdot t}$$

onde

$f_{v0}$  é a resistência ao cisalhamento da linha de cola, expressa em Megapascals (MPa);

$F_{v0,max}$  é a força máxima de cisalhamento aplicada na lamelas, expressa em Newtons (N);

$b$  é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

$t$  é a altura (espessura) do corpo de prova, expressa em milímetros (mm).

## 9.4 Procedimento

**9.4.1** Medir o teor de umidade da peça de ensaio.

**9.4.2** As dimensões da área de cisalhamento devem ser determinadas com precisão milimétrica com uso de paquímetro ou outro instrumento com mesma precisão

**9.4.3** Colocar o corpo de prova na máquina de ensaio de maneira que a lamela de um lado da linha de cola seja carregada e ao outra seja apoiada. Para o ensaio de cisalhamento de uma seção

transversão de MLCC, uma lamela é carregada na direção paralela às fibras enquanto que a lamela apoiada na máquina está com as fibras na direção perpendicular. No caso de ensaio de lamelas coladas lateralmente, as duas lamelas estarão com as fibras na mesma direção, tanto a lamela que está sendo ensaiada quanto a lamela que está apoiada na máquina. A linha de cola deve ser posicionada de modo que a distância entre o dispositivo aplicador de carga e o plano de cisalhamento não exceda 1 mm. O dispositivo aplicador de carga é ilustrado na Figura 15–a).

**9.4.4** O carregamento deve ser realizado a uma taxa constante de deformação e para que a falha ocorra após não menos do que 20 s.

## **10 Relatório do ensaio**

No relatório de ensaio, devem ser incluídas as seguintes informações:

- a) espécies, densidade e umidade da madeira que compõe o painel MLCC;
- b) dimensões dos painéis ensaiados e dimensões das lamelas que os compõe;
- c) indicação do adesivo utilizado na confecção do painel;
- d) informações sobre o sistema estático e as forças aplicadas durante os ensaios;

## Bibliografia

- [1] EN 408, *Structural timber and glued laminated timber – Determination of some physical and mechanical properties*
- [2] EN 1995 1-1, *Eurocode n° 5, Design of timber structures*

