

# Cap.4 - Ligações de peças estruturais

**4.1** Tipos de ligações

**4.2.** Ligações axiais por corte com pinos metálicos

**4.3.** Pregos

**4.4.** Parafusos auto-atarraxantes (eurocode 5)

**4.5.** Parafusos de porca e arruela

**4.6.** Pinos metálicos

**4.7.** Cavilhas

**4.8.** Conectores de Anel Metálicos

**4.9.** Ligações por Entalhes

**4.10.** Ligações por tarugos

**4.11.** Ligações com chapas prensadas

**4.12.** Tração Perpendicular às Fibras em Ligações

**4.13.** Deformabilidade das ligações e associação de conectores

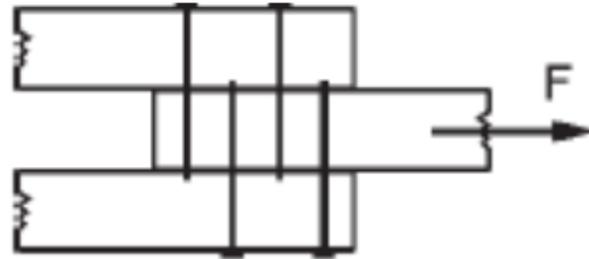
**4.14.** Problemas Resolvidos

**4.15.** Problemas Propostos

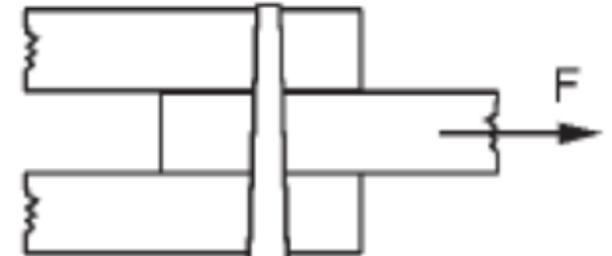
## 4.1 Tipos de ligações



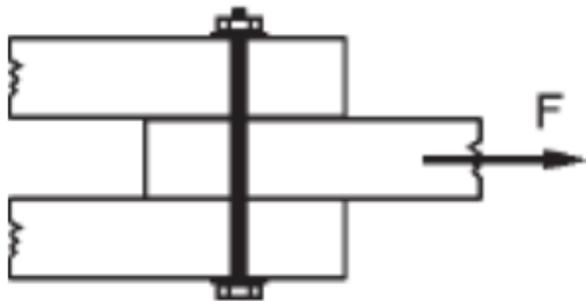
(a) Cola



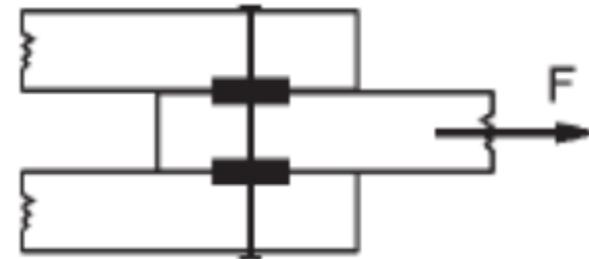
(b) Pregos



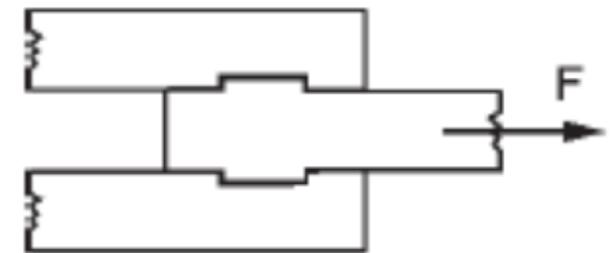
(c) Pino de madeira ou cavilha



(d) Parafuso



(e) Conector de anel



(f) Entalhe

Fig. 4.1 Tipos de ligações estruturais de peças de madeira.

Os grampos e as braçadeiras são utilizados apenas como elementos auxiliares de montagem, não sendo considerados elementos de ligação estrutural.

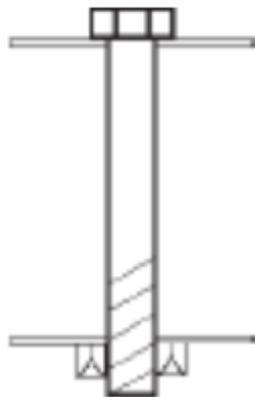
## 4.1 Tipos de ligações



prego



parafuso auto-atarraxante



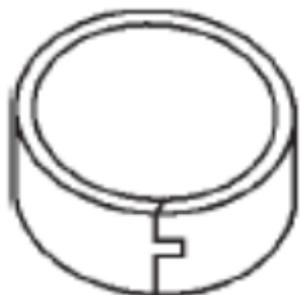
parafuso com porca e arruela



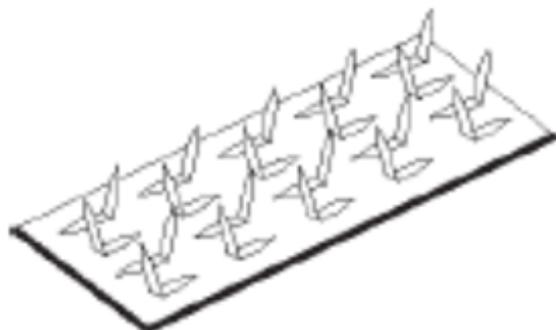
pino metálico



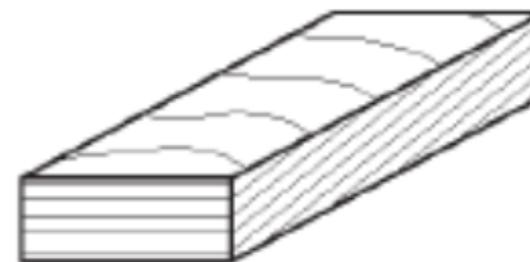
pino de madeira



conector de anel metálico



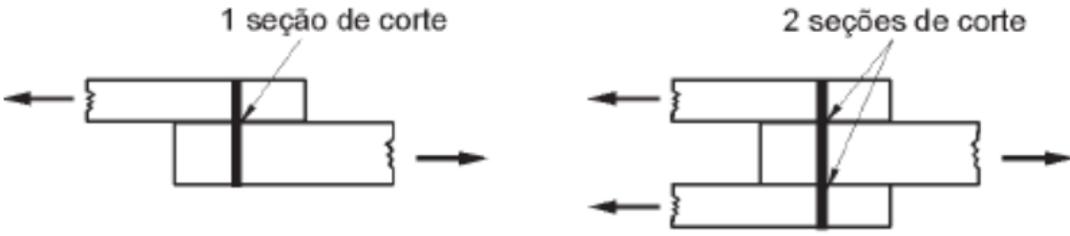
chapa com dentes estampados



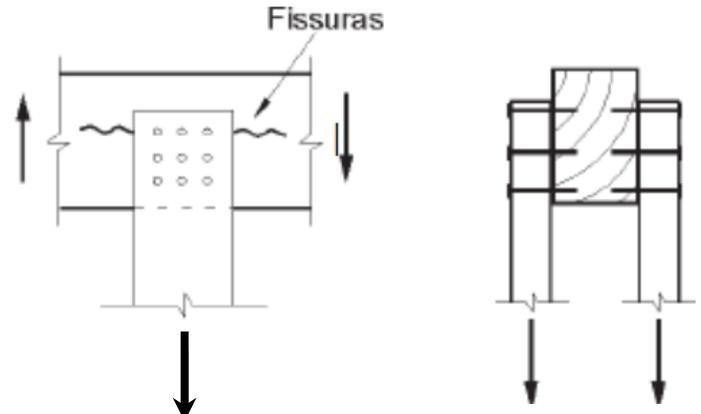
tarugo de madeira

Fig. 4.2 Conectores para ligações em estruturas de madeira.

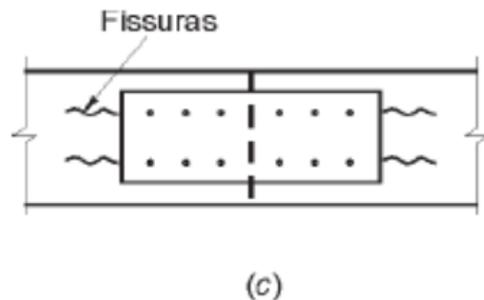
# 4.1 Tipos de ligações



**ligações axiais por corte**



**ligação transversal por corte**

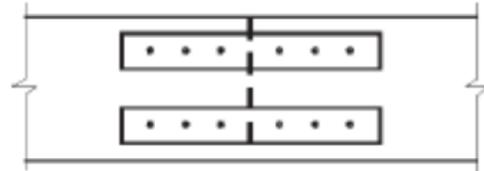


(c)



**fendilhamento por bloqueio das deformações transversais às fibras devidas a variações de umidade**

**emenda com chapas separadas para cada linha de parafusos.**



(d)

Fig. 4.3 Ligações por corte.

## 4.2.2. Resistência da Madeira à Compressão Localizada (embutimento)

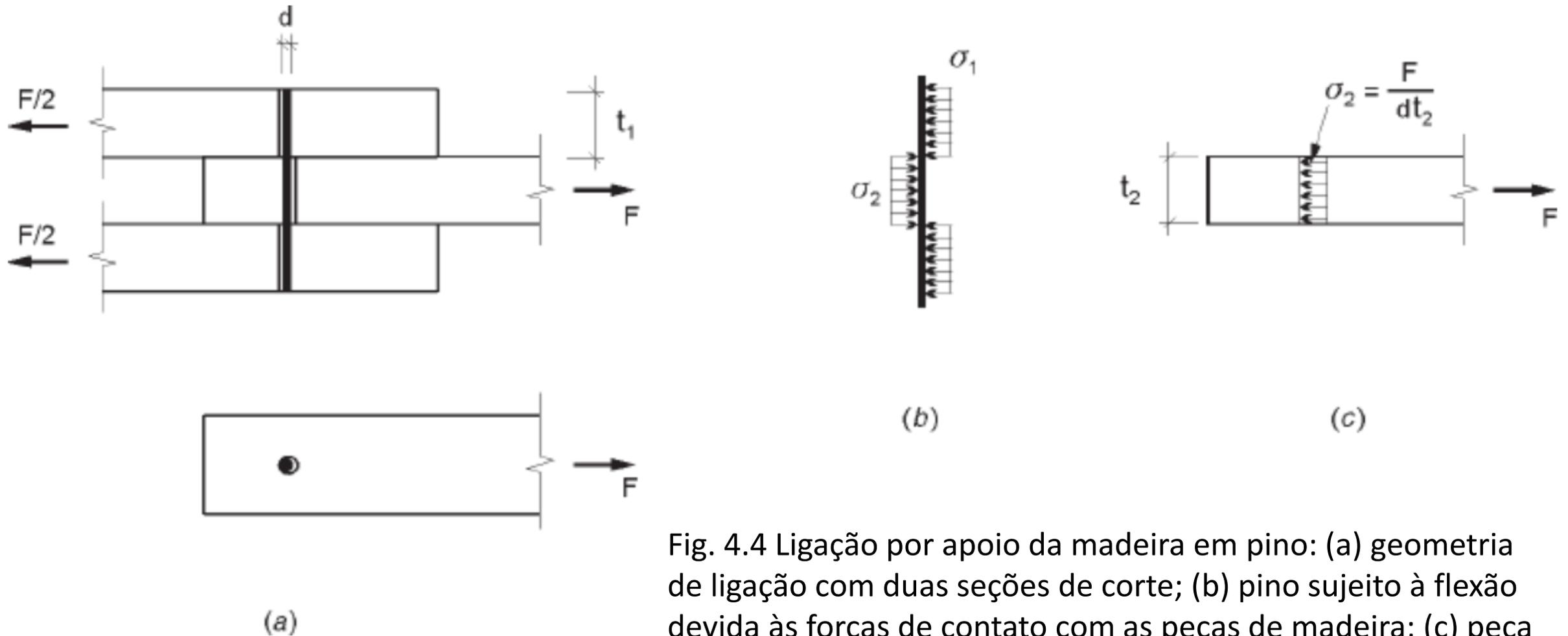


Fig. 4.4 Ligação por apoio da madeira em pino: (a) geometria de ligação com duas seções de corte; (b) pino sujeito à flexão devida às forças de contato com as peças de madeira; (c) peça central de madeira sujeita à tensão de compressão localizada  $\sigma_2$  devida ao contato com o pino (tensão de embutimento).

## 4.2.2. Resistência da Madeira à Compressão Localizada (embutimento)

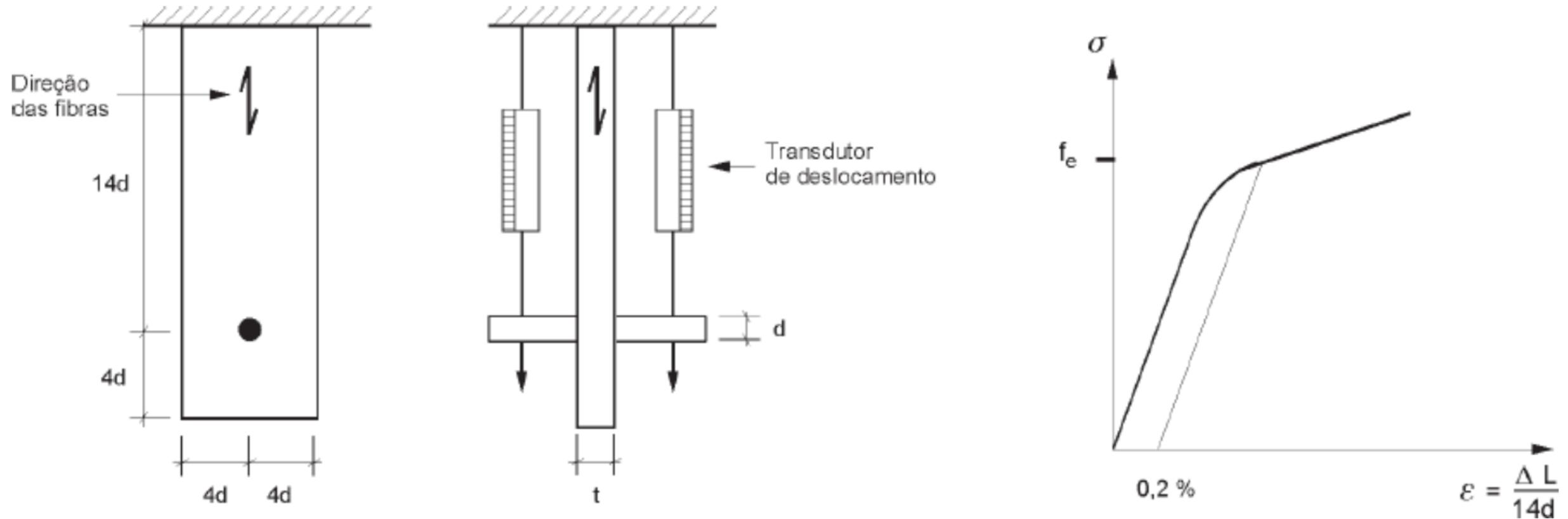


Fig. 4.5 Ensaio para determinação da resistência ao embutimento paralelo às fibras.

## 4.2.2. Resistência da Madeira à Compressão Localizada (embutimento)

De acordo com a NBR 7190, na ausência de determinação experimental específica permite-se avaliar a resistência ao embutimento com as seguintes expressões:

Paralela às fibras  $f_{ed} = f_{cd}$

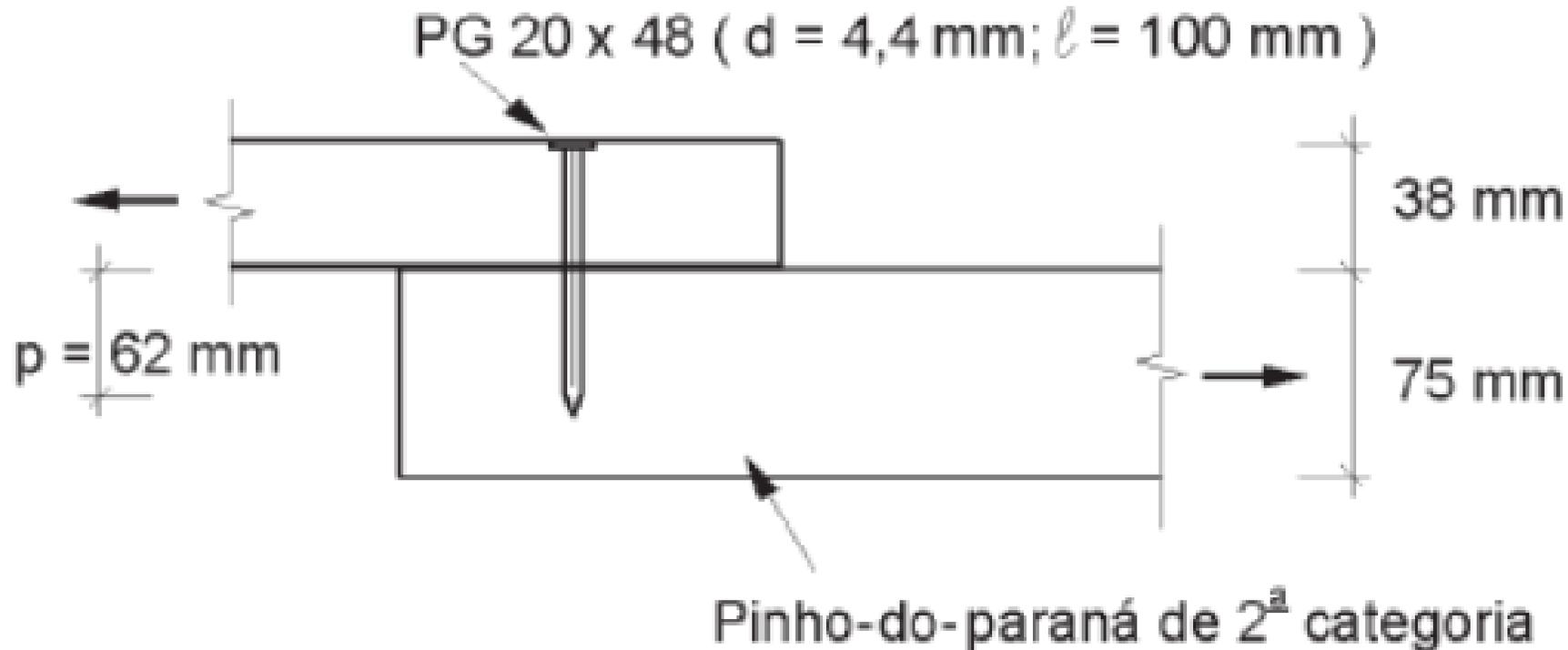
Normal às fibras  $f_{end} = 0,25 f_{ed} \alpha_e$

TABELA 4.1 Coeficiente  $\alpha_e$  para cálculo da resistência ao embutimento normal às fibras, sendo **d** o diâmetro do pino

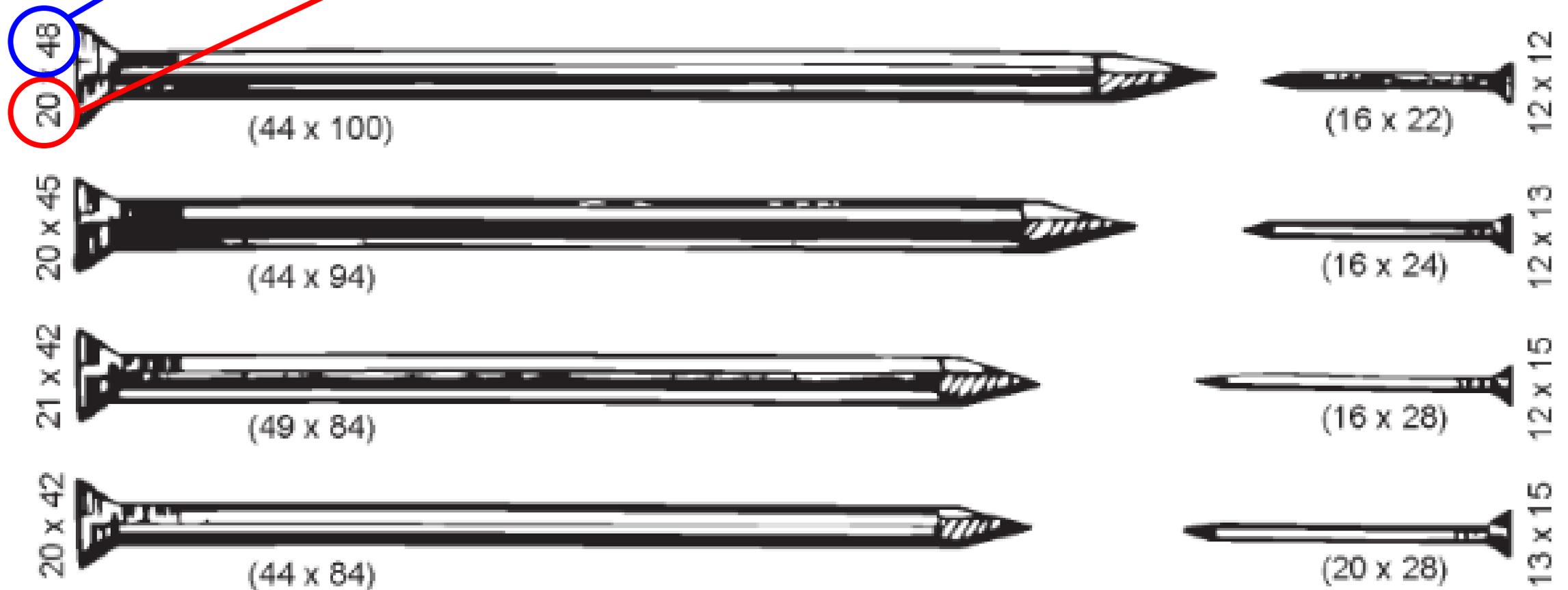
<b>d(cm)</b>	0,62	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	$\geq 7,5$
$\alpha_e$	2,50	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33	1,27	1,19	1,14	1,10	1,07	1,00

# Problema

Qual é a resistência  $R_d$  ao corte do prego ( $f_{yk} = 600 \text{ MPa}$ )  $20 \times 48$  na ligação ilustrada de duas peças tracionadas de pinho-do-paraná de 2ª categoria, de acordo com a NBR 7190, para as seguintes condições: carga de média duração e Classe 2 de umidade.



As bitolas comerciais antigas, ainda utilizadas no Brasil, descrevem os pregos por dois números: o primeiro representa o diâmetro em fieira francesa; o segundo mede o comprimento em linhas portuguesas.



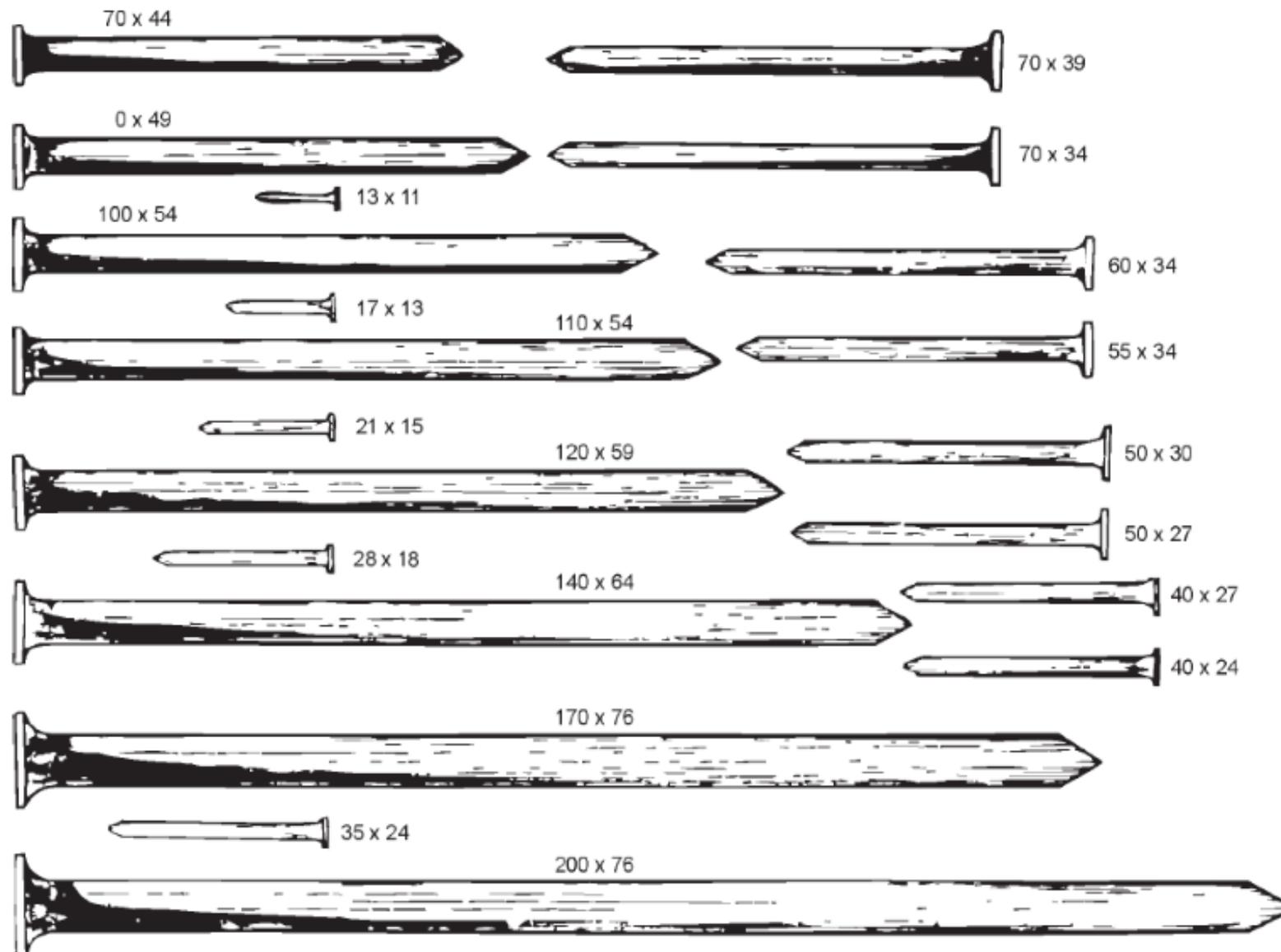


Fig. 4.12b – pregos com bitolas métricas, segundo padronização da ABNT.

**TABELA A.3.1** Bitolas comerciais de pregos com cabeça de aço temperado



Requisito de penetração do prego

Bitola	d (mm)	ℓ (mm)	Quantidade de pregos por quilo	Penetração mínima* 12d (mm)
19 × 27	3,9	63	155	47
19 × 30		69	143	
19 × 33		76	136	
19 × 36		82	121	
19 × 39		89	109	
20 × 30	4,4	69	106	53
20 × 33		76	98	
20 × 39		89	85	
20 × 42		95	77	
<b>20 × 48</b>		<b>108</b>	<b>67</b>	

\*Em ligações corridas, a penetração mínima é igual à espessura da peça mais delgada.  
Fonte: Catálogo Gerdau

Mecanismo	Descrição	Ilustração	
		Corte simples	Corte duplo
I - 2	Esmagamento local da peça 2		
I - 1	Esmagamento local das peças 1		
II	Esmagamento local das peças com rotação do pino		

Fig. 4.7 Mecanismos de plastificação em ligações com pinos.

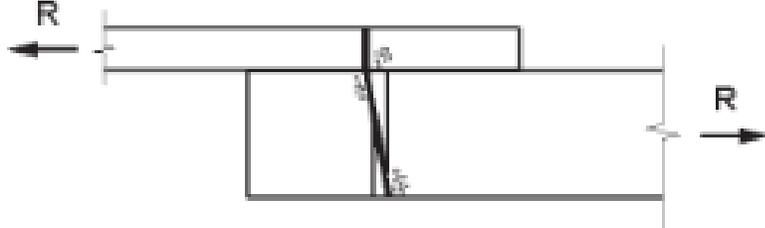
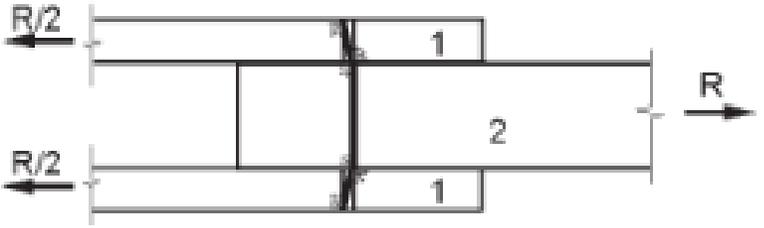
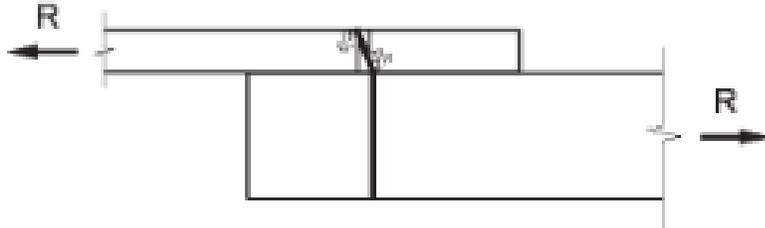
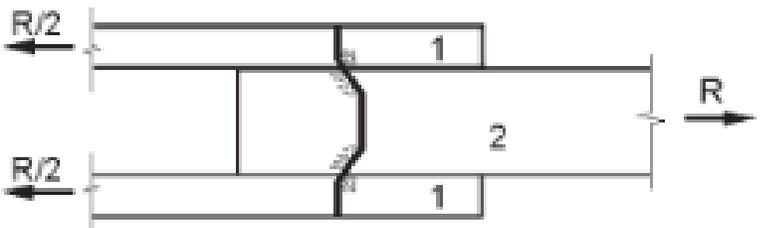
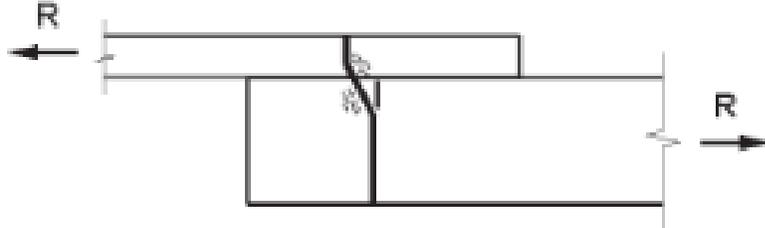
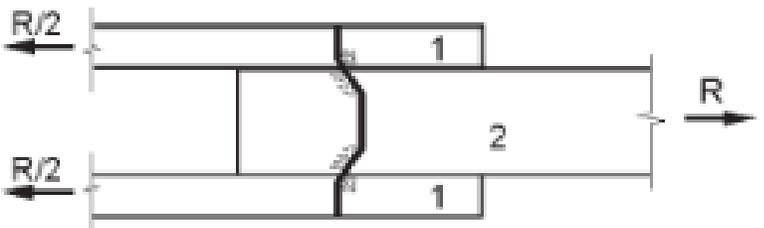
III - 2	Esmagamento da peça 2 e formação de rótula plástica no pino		
III - 1	Esmagamento da peça 1 e formação de 1 rótula plástica no pino por plano de corte		
IV	Formação de 2 rótulas plásticas por plano de corte com esmagamento das peças		

Fig. 4.7 Mecanismos de plastificação em ligações com pinos.

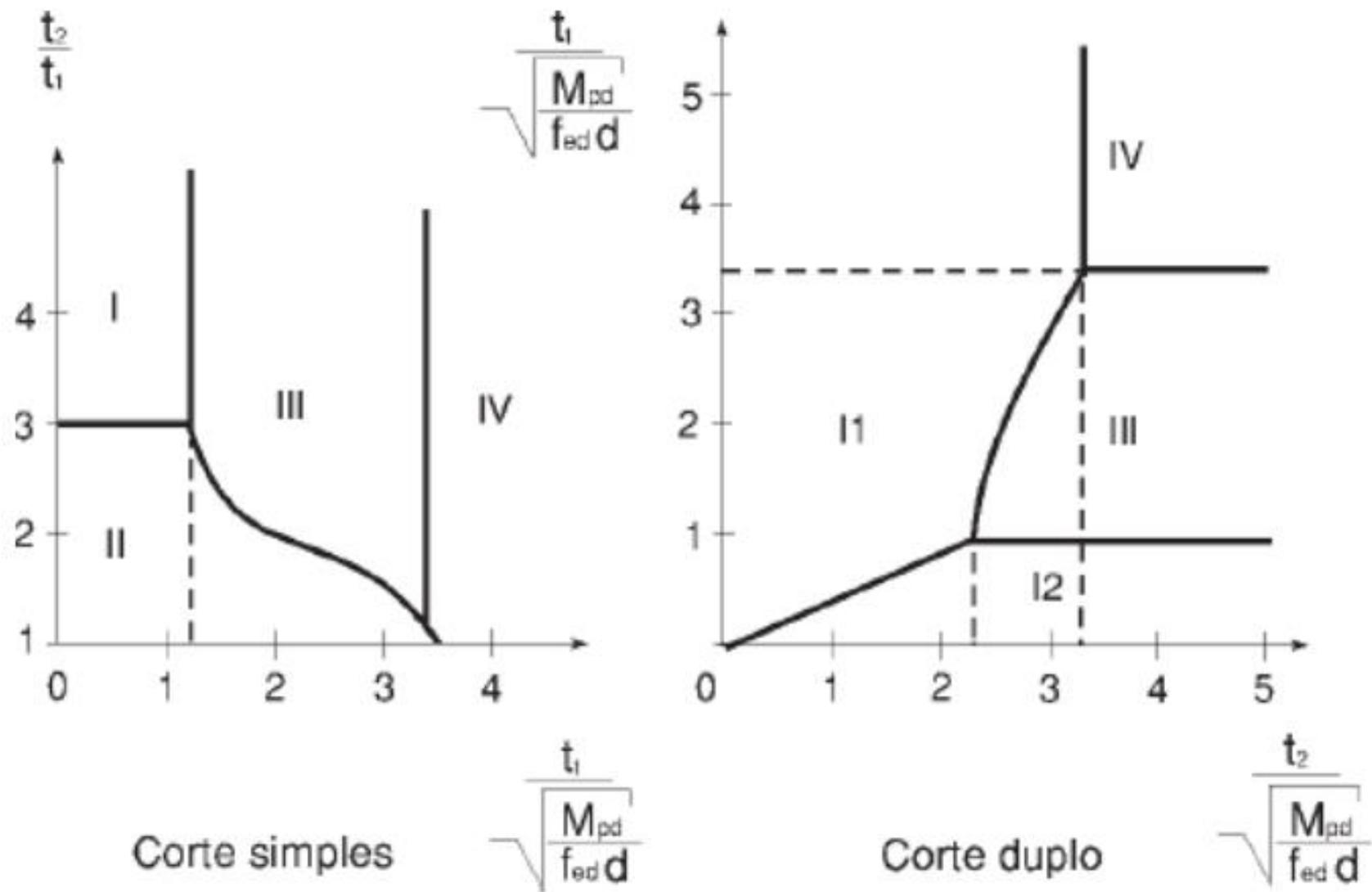


Fig. 4.9 Ábacos modificados de Möller (a) corte simples (b) corte duplo (Step, 1996).

## Mecanismo II — esmagamento local da madeira

$$\frac{t}{d} \leq 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \quad R_d = 0,4 f_{ed} d t$$

## Mecanismo IV — flexão do pino

$$\frac{t}{d} > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} \quad R_d = 0,5 d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}}$$



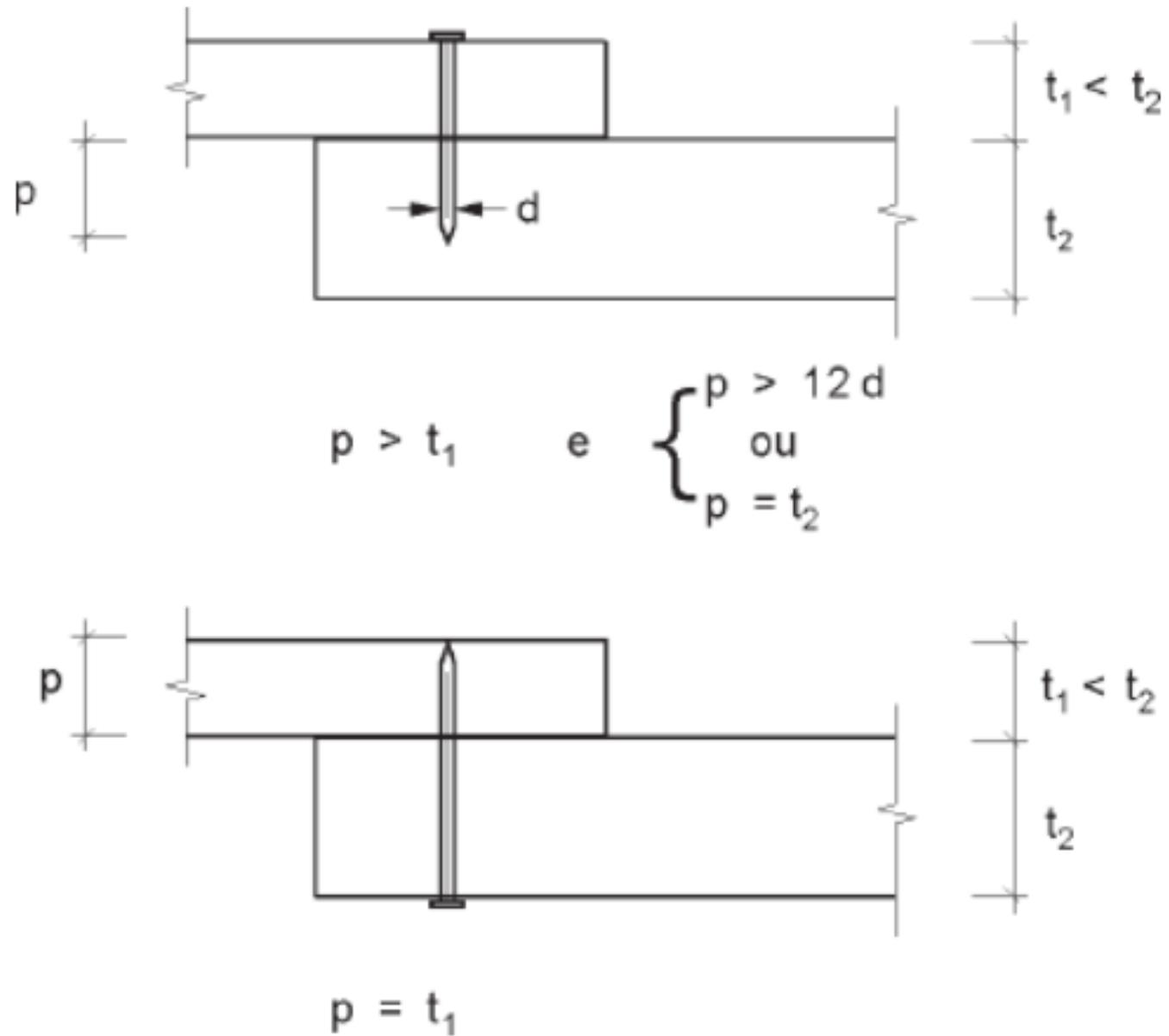
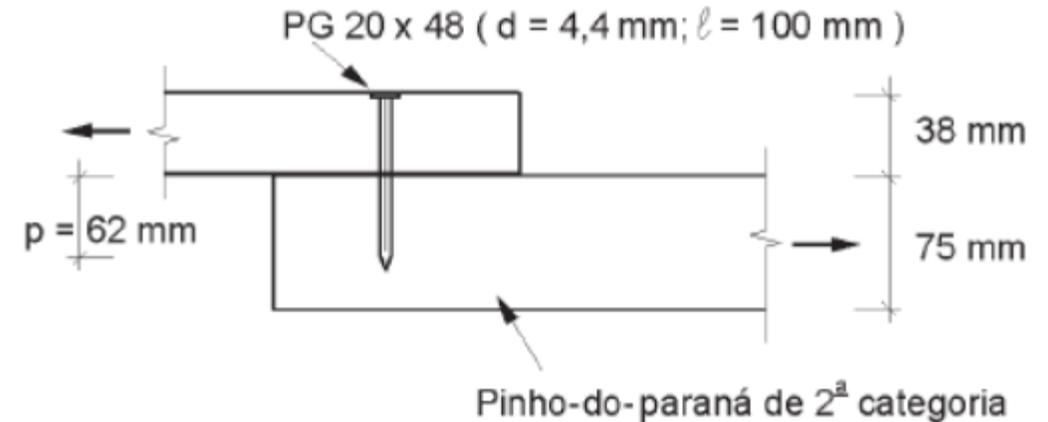


Fig. 4.16 Penetração de ponta  $p$  mínima em ligações pregadas segundo a NBR 7190.

## Exemplo 4.1

Calcular a resistência  $R_d$  ao corte do prego ( $f_{yk} = 600$  MPa) 20 × 48 na ligação ilustrada de duas peças tracionadas de pinho-do-paraná de 2ª categoria, de acordo com a NBR 7190, para as seguintes condições: carga de média duração e Classe 2 de umidade.



$$p = 62 \text{ mm} > 12d = 12 \times 4,4 = 52,8 \text{ mm} > t_1 = 38 \text{ mm} \text{ (verificação)}$$

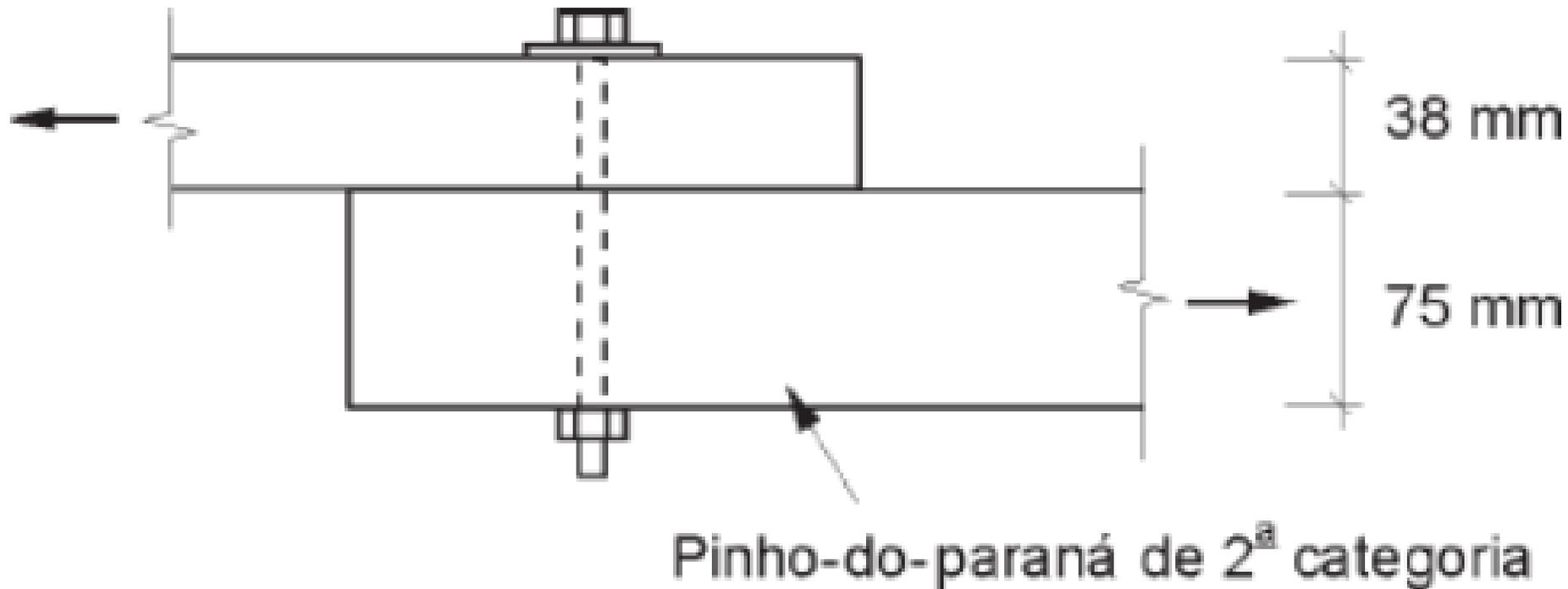
$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,80 \times 1,0 \times 0,8 \times \frac{0,7 \times 40,9}{1,4} = 13,1 \text{ MPa}$$

$$\frac{t}{d} = \frac{38}{4,4} = 8,64 > 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \sqrt{\frac{600/1,1}{13,1}} = 8,00 \text{ (mecanismo IV)}$$

$$R_d = 0,5d^2 \sqrt{f_{ed} f_{yd}} = 0,5 \times 4,4^2 \sqrt{13,1 \times 600/1,1} = 818 \text{ N}$$

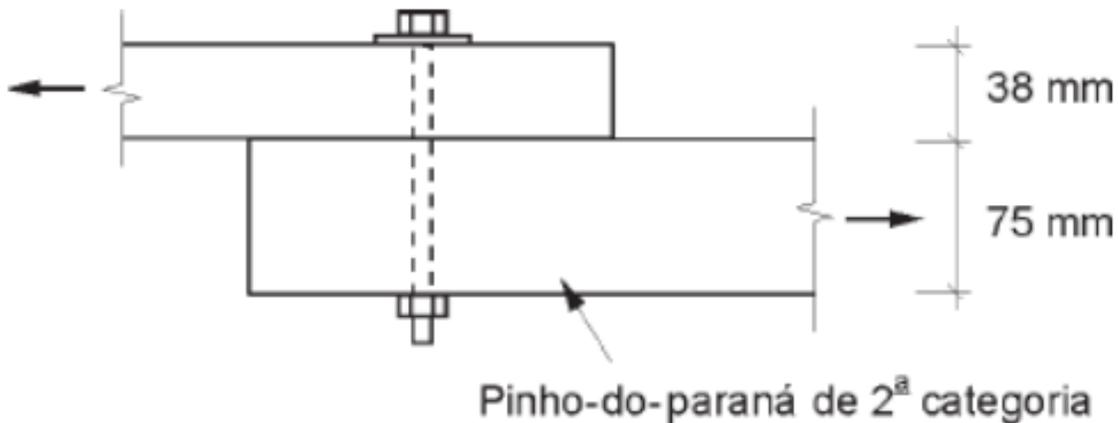
## Exemplo 4.3

Calcular a resistência ao corte do parafuso  $\phi$  12,5 mm (1/2") em aço A307 na ligação ilustrada na figura, de acordo com a NBR 7190 para as seguintes condições: carga de longa duração e classe 2 de umidade.



## Exemplo 4.3

Calcular a resistência ao corte do parafuso  $\phi$  12,5 mm (1/2") em aço A307 na ligação ilustrada na figura, de acordo com a NBR 7190 para as seguintes condições: carga de longa duração e classe 2 de umidade.



### Solução

a) Resistência da madeira ao embutimento paralelo às fibras

$$f_{ed} = f_{cd} = k_{mod} \frac{f_{ck}}{\gamma_w} = 0,70 \times 1,0 \times 0,8 \times \frac{0,7 \times 40,9}{1,4} = 11,4 \text{ MPa}$$

b) Resistência de uma seção de corte do parafuso ( $f_{yk} = 310 \text{ MPa}$ )

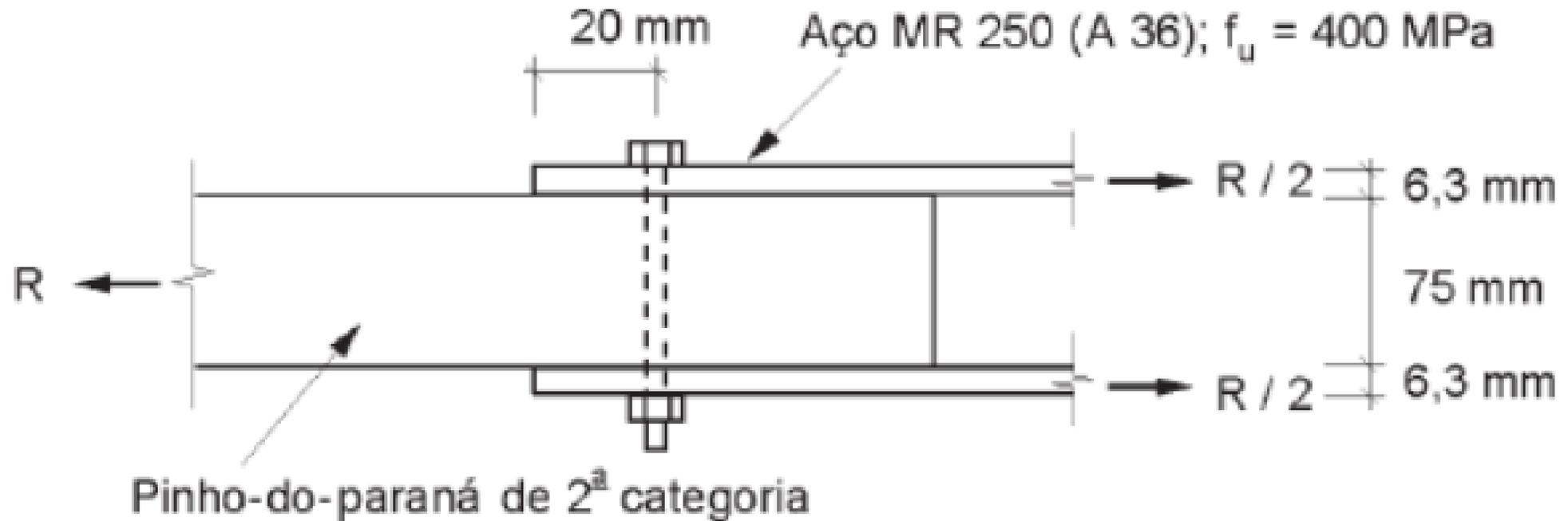
$$\frac{t}{d} = \frac{38}{12,5} = 3,0 < 1,25 \sqrt{\frac{f_{yd}}{f_{ed}}} = 1,25 \sqrt{\frac{310/1,1}{11,4}} = 6,21$$

$$R_d = 0,4 f_{ed} d t = 0,4 \times 11,4 \times 12,5 \times 38 = 2166$$

$$\mathbf{N = 2,16 \text{ kN}}$$

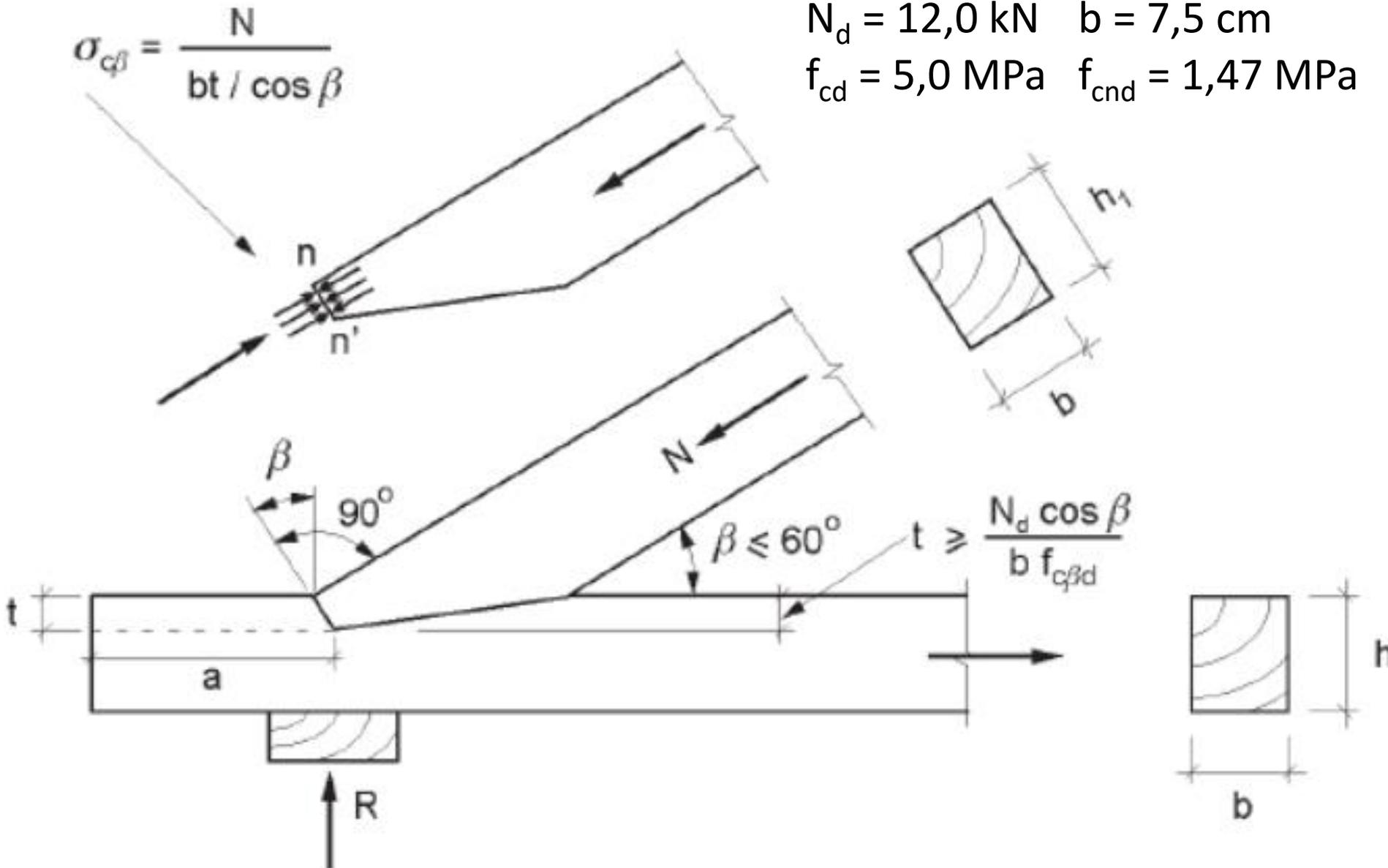
## Exemplo 4.4

Determinar a resistência do parafuso  $\phi 12,5$  mm ( $1/2''$ ) em aço A307 em corte duplo na ligação ilustrada na figura, de acordo com a NBR 7190 para as condições seguintes: carga de longa duração e classe 2 de umidade.



# Exemplo 4.6 Dimensionar uma emenda por dente simples, como é indicado na Fig. 4.27, sendo:

$N_d = 12,0 \text{ kN}$      $b = 7,5 \text{ cm}$      $h = 22,5 \text{ cm}$      $\beta = 30^\circ$   
 $f_{cd} = 5,0 \text{ MPa}$      $f_{cnd} = 1,47 \text{ MPa}$      $f_{vd} = 0,93 \text{ MPa}$



## Solução

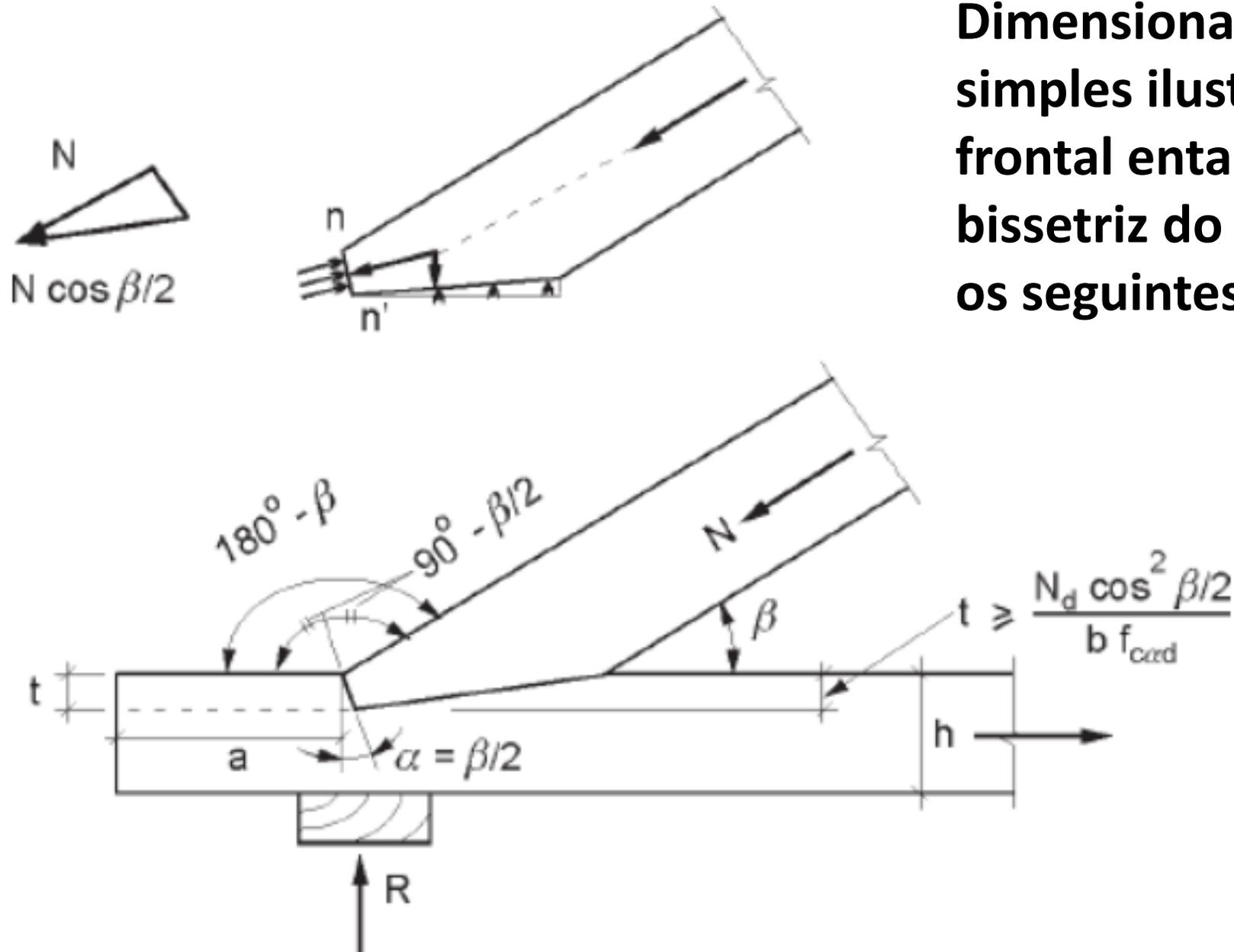
A tensão resistente  $f_{c\beta d}$  para uma face inclinada de  $30^\circ$  pode ser calculada pela Eq. (3.14a):

$$f_{c\beta d} = \frac{f_{cd} \times f_{cnd}}{f_{cd} \times \text{sen}^2(\beta) + f_{cnd} \times \text{cos}^2(\beta)} = \frac{5,0 \times 1,47}{5,0 \times \text{sen}^2(30^\circ) + 1,47 \times \text{cos}^2(30^\circ)} = 3,12 \text{ MPa}$$

A tensão  $f_{c\beta d}$  aplica-se à peça horizontal, na qual a face de apoio é inclinada de  $\beta$ . Utilizando as Eqs. (4.23) e (4.24), obtêm-se:

$$t \geq \frac{N_d \cos(\beta)}{b f_{c\beta d}} = \frac{12000 \cos(30^\circ)}{75 \times 3,12} = 44 \text{ mm} < h/4$$
$$a > \frac{N_d \cos(\beta)}{b f_{vd}} = \frac{12000 \cos(30^\circ)}{75 \times 0,93} = 149 \text{ mm} \cong 15 \text{ cm}$$

## Exercício 4.14.5



Dimensionar a emenda por dente simples ilustrada na Fig. 4.28 (face frontal entalhada na direção da bissetriz do ângulo  $(180^\circ - \beta)$ ) com os seguintes dados:

$$N_d = 12,0 \text{ kN}$$

$$b = 7,5 \text{ cm}$$

$$h = 22,5 \text{ cm}$$

$$\beta = 30^\circ$$

$$f_{cd} = 11,4 \text{ MPa}$$

$$f_{cnd} = 2,85 \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = 1,5 \text{ MPa}$$

## Solução

A tensão resistente  $f_{c\alpha d}$  ( $\alpha = 15^\circ$ ) aplica-se à peça horizontal e à peça inclinada, uma vez que ambas têm a face de apoio inclinada de  $\alpha$  em relação à normal à direção das fibras. Aplicando-se a Eq. (3.14), obtém-se:

$$f_{c\alpha d} = \frac{f_{cd} \times f_{cnd}}{f_{cd} \times \sin^2(\alpha) + f_{cnd} \times \cos^2(\alpha)} = \frac{11,4 \times 2,85}{11,4 \times \sin^2(15^\circ) + 2,85 \times \cos^2(15^\circ)} = 9,49 \text{ MPa}$$

Para a profundidade do dente  $t$ , obtém-se:

$$t \geq \frac{N_d \cos^2(\alpha)}{b f_{c\alpha d}} = \frac{12000 \cos^2(15^\circ)}{75 \times 9,49} = 15,7 \text{ mm} < h/4$$
$$a > \frac{N_d \cos^2(\alpha)}{b f_{vd}} = \frac{12000 \cos^2(15^\circ)}{75 \times 1,5} = 99,5 \text{ mm}$$

## Exercício 4.15.4

Dimensionar a ligação por entalhe do nó extremo de uma treliça de madeira jatobá (2.a categoria, classe 3 de umidade) conforme ilustra a figura. Os esforços indicados na figura decorrem de uma combinação normal de ações.

