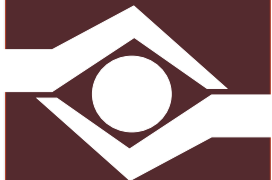




PROTEÇÕES COLETIVAS

Modelo de
Dimensionamento
de um Sistema de
Guarda-Corpo



MINISTÉRIO
DO TRABALHO E EMPREGO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO
SANTA CATARINA

PROTEÇÕES COLETIVAS

Modelo de Dimensionamento de um Sistema de Guarda-Corpo

Presidente da República
Luiz Inácio Lula da Silva

Ministro do Trabalho e Emprego
Ricardo Berzoini

FUNDACENTRO

Presidenta
Rosiver Pavan

Diretor Executivo
Antônio Roberto Lambertucci

Diretora Técnica
Arlene Sydneia Abel Arcuri

Diretora de Administração e Finanças
Renata Maria Celeguim

PROTEÇÕES COLETIVAS

Modelo de Dimensionamento de um Sistema de Guarda-Corpo

Coordenação da Pesquisa

Artur Carlos da Silva Moreira
Engenheiro de Segurança do Trabalho
do Centro Estadual de Santa Catarina
Mestre em Engenharia de Produção

Pesquisa

Artur Carlos da Silva Moreira

Gracieli Scarpini

Janaina Clasen

MINISTÉRIO
DO TRABALHO E EMPREGO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

2004

Catálogo na Fonte: CDB/Fundacentro

Proteções coletivas: modelo de dimensionamento de um sistema de guarda-corpo. Artur Carlos da Silva Moreira. Coordenador. Pesquisadoras. Gracieli Scarpini; Janaina Clasen. São Paulo: Fundacentro, 2004.

39 p. 23cm.

ISBN 85-98117-02-1

1. Sistema de guarda-corpo. 2. Segurança do trabalho. 3. Indústria da construção. I. Artur Carlos da Silva Moreira (coordenador). II. Gracieli Scarpini. III. Janaina Clasen. IV. Título.

CIS/OIT

As Xib Safr

APRESENTAÇÃO

A revisão da Norma Regulamentadora nº 18, publicada no Diário Oficial da União em 07/07/95, significou um enorme avanço na busca da melhoria das condições de segurança na indústria da construção, reduzindo o número de acidentes de trabalho e doenças profissionais e contribuindo para diminuir o agravo do quadro social consequente desses infortúnios.

Dos avanços encontrados na NR 18, pode-se destacar a exigência de proteções coletivas onde haja possibilidade de quedas de altura, bem como a inserção do conceito do sistema de guarda-corpo e rodapé, que deverá ser usado em andaimes, periferia das lajes, lajes, passarelas, vãos de elevadores, entre outros.

Outro ponto destacável é em relação ao Programa sobre Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção - PCMAT, que é integrado também pelo projeto das proteções coletivas em conformidade com as etapas da execução da obra.

Dentre os objetivos principais desta publicação está o de enfatizar a real importância do correto dimensionamento das proteções coletivas e proporcionar, às empresas e profissionais, metodologias para o cálculo de sistemas de guarda-corpo utilizados na indústria da construção.

Não se pretende com este trabalho substituir a responsabilidade do profissional legalmente habilitado, como prevê a NR 18, mas sim

colaborar com o entendimento de uma metodologia para o cálculo de tal proteção coletiva.

Convém ressaltar que este trabalho merece complementação, podendo ainda serem estudados outros materiais, ou a combinação de vários materiais para a confecção dos guarda-corpos.

Agradecemos desde já o auxílio da UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, na pessoa do professor Carlos Alberto Szücs, da UNISUL - Universidade do Sul de Santa Catarina e do grupo do PROESIC - Programa de Engenharia de Segurança na Indústria da Construção da FUNDACENTRO.

Engº Artur Carlos da Silva Moreira

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE PROTEÇÕES COLETIVAS	10
2.1	Dimensionamento das Travessas	12
2.2	Dimensionamento dos Montantes	16
2.3	Dimensionamento da Mão Francesa	17
3	EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE GUARDA-CORPO	20
3.1	Dados Específicos da Madeira	21
3.2	Dimensionamento das Travessas Intermediárias e Superiores	21
3.2.1	Cargas	21
3.2.2	Esforços	21
3.2.3	Dimensionamento	22
3.2.3.1	Seção 5,0 x 15,0 cm	22
3.3	Dimensionamento das Travessas Superiores Complementares	24
3.3.1	Cargas	24
3.3.2	Esforços	25
3.3.3	Dimensionamento	25
3.3.3.1	Seção 5,0 x 15,0 cm	25

3.4	Dimensionamento dos Montantes	27
3.4.1	Cargas	27
3.4.2	Esforços	28
3.4.3	Dimensionamento.....	28
3.4.3.1	Seção 5,0 x 15,0 cm	28
3.5	Dimensionamento da Mão Francesa	29
3.5.1	Cargas	29
3.5.2	Esforços	29
3.5.3	Dimensionamento.....	29
3.5.3.1	Seção 5,0 x 15,0 cm	29
4	RESULTADO FINAL DO DIMENSIONAMENTO	31
5	BIBLIOGRAFIA.....	38

1 INTRODUÇÃO

Diversos profissionais já questionaram quanto à existência de padrões para sistemas de guarda-corpo e rodapé, alegando dificuldades quanto à metodologia para o cálculo dessas proteções. Em função desta demanda, sentimos a necessidade de propor uma metodologia de cálculo para dimensionamento de sistemas de guarda-corpo.

Neste primeiro momento, iremos trabalhar com o guarda-corpo construído com três tipos diferentes de madeiras (Eucalipto, Pinus e Pinho). Em um segundo estudo a ser publicado posteriormente, estudaremos os guarda-corpos metálicos.

No Capítulo 2 será apresentada a metodologia utilizada para o dimensionamento, bem como as características do sistema de guarda-corpo utilizado.

O Capítulo 3 contém um exemplo de dimensionamento deste sistema de guarda-corpo, utilizando como exemplo um determinado tipo de madeira com seções e distâncias definidas.

Como conclusão deste estudo, pode-se observar no Capítulo 4 o resultado final do dimensionamento para diversos tipos de madeiras, distância entre montantes e seções utilizadas nos elementos que compõem o sistema de guarda-corpo.

2 METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE PROTEÇÕES COLETIVAS

A metodologia para cálculo de um sistema de guarda-corpo e rodapé será aquela prevista na Norma NBR-7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, que trata a madeira segundo a teoria clássica da resistência dos materiais.

O dimensionamento das estruturas será feito pelo método das tensões admissíveis, que seguirá o seguinte roteiro:

- Determinação da tensão atuante ou tensão de serviço;
- Determinação da tensão admissível;
- Verificação do dimensionamento (a tensão de serviço deverá ser menor que a tensão admissível).

Para fins de dimensionamento usaremos os dados da Norma NBR-6120 – Ações de Cargas nas Estruturas, que estabelece que o guarda-corpo deve suportar um esforço de 80 Kgf/m (oitenta quilogramas-força por metro linear).

Quanto às características do sistema guarda-corpo e rodapé é importante destacar:

- a) A altura dos montantes será constante, no valor de 1,20 m, conforme prevê a NR 18;
- b) Os cálculos serão realizados para 05 (cinco) distâncias entre montantes: 1,00 m, 1,25 m, 1,50 m, 1,75 m e 2,00 m.
- c) Estas dimensões poderão ser vistas no exemplo de cálculo do capítulo 3 e na tabela de dimensionamento do cálculo do capítulo 4.

Diversos são os tipos de madeiras e as dimensões comerciais¹ encontradas nas diversas regiões do Brasil. Sugerimos então para os tipos de madeira em estudo, algumas seções que poderão ou não ser utilizadas, dependendo da distância entre montantes a ser considerada.

De modo a facilitar a sequência de cálculos, bem como seu entendimento, dividiremos o sistema de guarda-corpo em elementos distintos, conforme pode-se observar na figura abaixo:

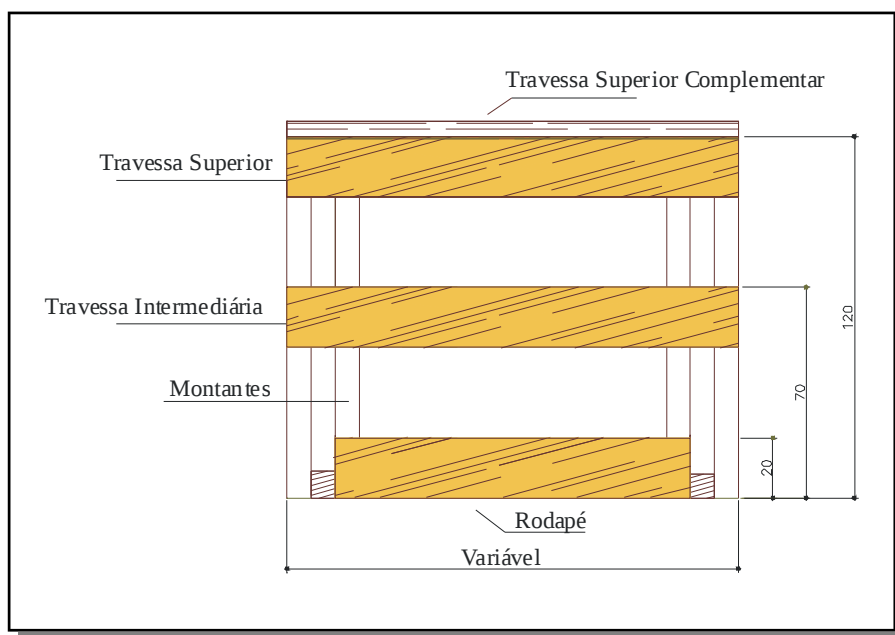


Figura 1 *Elementos do Sistema de Guarda-Corpo – Vista Frontal.*

¹A Norma NBR-7203 Madeira serrada e beneficiada, determina de forma muito vaga as espessuras das tábuas, pois trabalha em função de faixas de valores, o que não satisfaz nossa necessidade.

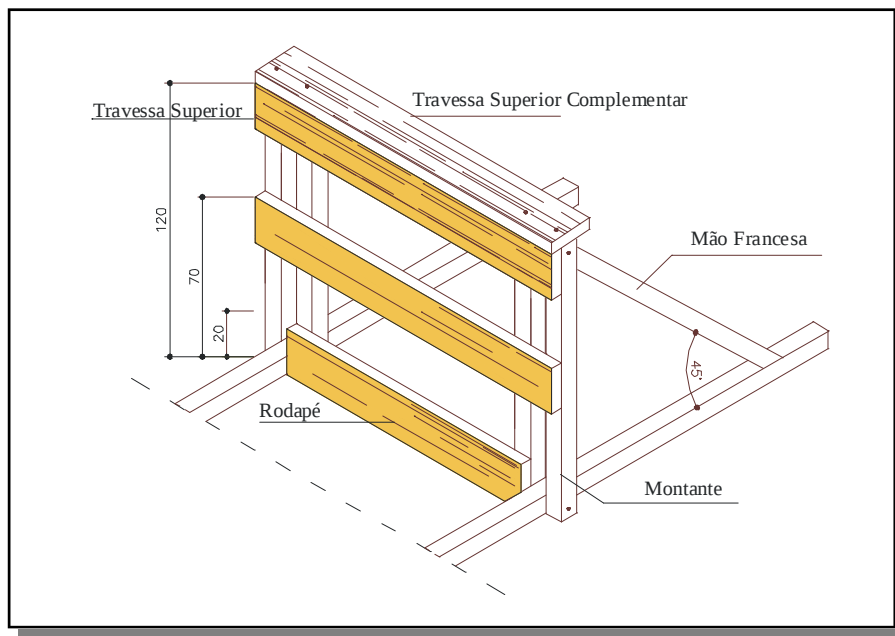


Figura 2 Elementos do Sistema de Guarda-Corpo – Perspectiva.

2.1 Dimensionamento das Travessas

Flexão simples

- Tensão Normal (Tensão Normal às fibras da madeira)

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_f^s = \frac{M \times y}{I}$$

onde:

M = Momento Fletor

y = Centro de Gravidade da peça

I = Momento de Inércia da peça, ou seja, $I = \frac{b \times h^3}{12}$

Proteções Coletivas

Tensão Admissível

A NBR-7190 define a tensão admissível como 15% da tensão média de ruptura da madeira.

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times \sigma_f^{rup}$$

onde:

σ_f^{rup} = Tensão limite de resistência da madeira

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{atuante} < \sigma_{admissível}$$

- Tensão de Cisalhamento

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\tau_f^s = \frac{V \times Ms}{b_0 \times I}$$

onde:

V = Esforço Cortante

Ms = Momento Estático da seção transversal, relativo ao plano de cisalhamento que está sendo analisado

b₀ = Largura da seção transversal contida no plano de cisalhamento que está sendo analisado

I = Momento de Inércia, ou seja, $I = \frac{b \times h^3}{12}$

Proteções Coletivas

Tensão Admissível

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times \sigma_f^{rup}$$

onde:

σ_f^{rup} = Tensão limite de resistência da madeira ao cisalhamento

Verificação de Dimensionamento

$$\tau_{atuante} < \tau_{admissível}$$

- Flecha

A flecha ocorre devido a deformação da viga, podendo ser analisada sob os aspectos das cargas permanentes e cargas acidentais.

- Cargas Acidentais (cargas temporárias)
- Cargas Permanentes (cargas de longa duração e que estão permanentemente fazendo parte da estrutura).

Flecha Atuante

a) Carga Permanente

$$f_{per} = \frac{3}{2} \times \frac{5 \times q_{per} \times L^4}{384 \times E_{mv}^f \times I}$$

onde:

q_{per} = carga permanente

L = comprimento do vão

E_{mv}^f = Módulo de Elasticidade

I = Momento de Inércia

b) Carga Acidental

$$f_{aci} = \frac{5 \times q_{aci} \times L^4}{384 \times E_{mv}^f \times I}$$

onde:

q_{aci} = carga acidental

L = comprimento do vão

E_{mv}^f = Módulo de Elasticidade

I = Momento de Inércia

A soma da parcela referente ao carregamento permanente com a parcela referente ao carregamento acidental, dará a flecha total atuante.

Flecha Admissível

$$\overline{f_{adm}} = \frac{L}{350}$$

onde:

L = Vão da peça

Verificação de Dimensionamento

$$f_{total} < f_{admissível}$$

$$(f_{per} + f_{aci}) < f_{admissível}$$

Como o valor da carga acidental é muito maior que a carga permanente, não utilizaremos esta última, por ser desprezível.

A verificação do dimensionamento é feita para avaliar se os valores obtidos satisfazem ou não as condições previstas. Com a verificação feita

saberemos se a seção transversal empregada resistirá aos esforços a que estará submetida. A espécie botânica da madeira também deverá ser levada em consideração, pois cada espécie tem características mecânicas de ruptura diferentes.

O dimensionamento só será seguro se essas três verificações (Tensão Normal à seção transversal, Tensão de Cisalhamento e Flecha) forem atendidas.

2.2 Dimensionamento dos Montantes

Flexão

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_f^s = \frac{M \times y}{I}$$

onde:

M = Momento Fletor

y = Centro de Gravidade da peça

I = Momento de Inércia da peça, ou seja, $I = \frac{b \times h^3}{12}$

Tensão Admissível

A NBR-7190 define a tensão admissível como 15% da tensão média de ruptura da madeira.

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times \sigma_f^{rup}$$

onde:

σ_f^{rup} = Tensão limite de resistência da madeira

Verificação de Dimensionamento

$\sigma_{atuante} < \sigma_{admissível}$

2.3 Dimensionamento da Mão Francesa

Em função da esbeltez da peça, a NBR-7190, considera três situações de peças submetidas à compressão paralela às fibras da madeira:

- Peça Curta (PC) = $0 < \lambda \leq 40$
- Peça Intermediária (PI) = $40 \leq \lambda \leq \lambda_0$
- Peça Longa (PL) = $\lambda_0 \leq \lambda \leq 140$

A esbeltez máxima permitida para peças de madeira é igual a 140. O procedimento para verificação da esbeltez é o que segue:

a) Índice de esbeltez da zona comprimida

$$\lambda = \frac{l_{fl}}{\sqrt{\frac{I}{S}}}, \text{ onde:}$$

I = momento de inércia

S = área da seção transversal

l_{fl} = comprimento de flambagem

b) λ_0

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi^2 E}{8 \times \sigma_{cp}}}$$

E = módulo de elasticidade longitudinal da madeira

σ_{cp} = tensão limite de resistência à compressão

Conhecidos estes valores, pode-se determinar o intervalo em que a peça se encontra, e proceder seu respectivo dimensionamento.

- Peça Curta (PC)

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_{cp}^s = \frac{P}{s}$$

onde:

P = carga atuante na mão francesa $P = \frac{F}{\cos 45^\circ}$ onde:

F = carga atuante no montante

s = área da seção transversal da peça

Tensão Admissível

$$\overline{\tau_{cp}^s} = 0,20 \times \sigma_{cp}^{rup}$$

onde:

σ_{cp}^{rup} = tensão limite de resistência à compressão

Proteções Coletivas

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{\text{atuante}} < \sigma_{\text{admissível}}$$

- Peça Intermediária (PI)

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_{cp}^s = \frac{P}{s}$$

onde

$$P = \text{carga atuante na mão francesa} \quad P = \frac{F}{\cos 45^\circ}$$

F = carga atuante no montante

s = área da seção transversal da peça

Tensão Admissível

$$\overline{\sigma_{cp}^{PI}} = \overline{\sigma_{cp}} \left[1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\lambda - 40}{\lambda_0 - 40} \right) \right]$$

onde:

$\overline{\sigma_{cp}}$ = tensão admissível do caso de PC

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{\text{atuante}} < \sigma_{\text{admissível}}$$

- Peça Longa (PL)

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_{cp}^s = \frac{P}{s}$$

onde:

$$P = \text{carga atuante na mão francesa} \quad P = \frac{F}{\cos 45^\circ}$$

F = carga atuante no montante

s = área da seção transversal da peça

Tensão Admissível

$$\overline{\sigma_{cp}^{PL}} = \frac{\pi^2 \times E}{4 \times \lambda^2} \quad \text{onde :}$$

E = módulo de elasticidade longitudinal da madeira

λ = índice de esbeltez

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{atuante} < \sigma_{admissível}$$

3 EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO DE GUARDA-CORPO

Neste capítulo exemplificaremos o dimensionamento de um sistema de guarda-corpo, utilizando como material madeira de eucalipto. A distância entre montantes utilizada será 1,50m e a seção de cada

componente do sistema de guarda-corpo (montantes, travessas, rodapé e mão-francesa) será 5,0cm x 15,0cm.

3.1 Dados Específicos da Madeira

MADEIRA: EUCALIPTO TERETICORNIS (PROCEDÊNCIA RIO CLARO – SP)	unidades	dados
Peso específico a 15% de umidade - $\rho_{15\%}$	g/cm ³	0,95
Módulo de Elasticidade Longitudinal - E_{mv}^f	MPa	13320
Tensão Limite de Resistência – Compressão Paralelo - σ_{cp}^{rup}	MPa	53
Tensão Limite de Resistência – Tração Paralelo ou Flexão - σ_{tp}^{rup}	MPa	127
Tensão Limite de Resistência – Cisalhamento - σ_{cis}^{rup}	MPa	14

Tabela 1 Dados específicos da madeira

3.2 Dimensionamento das Travessas Intermediárias e Superiores

Comprimento: 1,50 m

3.2.1 Cargas

De acordo com a Norma NBR-6120, o sistema de guarda-corpo deve suportar um esforço de 80 kgf/m (carga acidental). Como a carga permanente da estrutura é praticamente desprezível (2×10^{-8} kgf/m), o sistema de guarda-corpo será dimensionado em função de um esforço de 80 kgf/m.

3.2.2 Esforços

Momento Fletor (M)

M = 225 N.m

Esforço Cortante (V)

$$V = 600 \text{ N}$$

3.2.3 Dimensionamento

3.2.3.1 – Seção 5,0 x 15,0 cm

Flexão simples

- Tensão Normal

$$\sigma_f^s = \frac{M \times y}{I} \text{ Tensão Atuante ou Tensão de Serviço}$$

$$\sigma_f^s = \frac{(225 \times 0,025)}{1,562 \times 10^{-6}} = 3,60 \times 10^6$$

$$\sigma_f^s = 3,60 \text{ MPa}$$

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times \sigma_f^{rup} \text{ Tensão Admissível}$$

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times (127 \times 10^6)$$

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 19,05 \text{ MPa}$$

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{atuante} < \sigma_{admissível}$$

$$3,60 \text{ MPa} < 19,05 \text{ MPa}$$

Proteções Coletivas

- Tensão de Cisalhamento

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\tau^s_f = \frac{V \times Ms}{b_0 \times I}$$

$$\tau^s_f = \frac{600 \times (4,69 \times 10^{-5})}{0,075 \times (1,562 \times 10^{-6})}$$

$$\tau^s_f = 0,24 \times 10^6 \text{ Pa} = 0,24 \text{ MPa}$$

Tensão Admissível

$$\overline{\tau^s_f} = 0,10 \times \sigma_{cis}^{rup}$$

$$\overline{\tau^s_f} = 0,10 \times (14 \times 10^6)$$

$$\overline{\tau^s_f} = 1,4 \text{ MPa}$$

Verificação de Dimensionamento

$$\tau_{atuante} < \tau_{admissível}$$

$$0,24 \text{ MPa} < 1,4 \text{ MPa}$$

- Flecha

$$E^f_{mv} = 13320 \text{ MPa}$$

Flecha Atuante

$$f = \frac{5 \times q_{total} \times L^4}{384 \times E^f_{mv} \times I}$$

$$f = \frac{5 \times (800) \times (1,5)^4}{384 \times (13320 \times 10^6) \times (1,562 \times 10^{-6})}$$

$$f = 2,53 \times 10^{-3} m$$

Flecha Admissível

$$\overline{f_{adm}} = \frac{L}{350}$$

$$\overline{f_{adm}} = \frac{1,5}{350}$$

$$\overline{f_{adm}} = 4,28 \times 10^{-3} m$$

Verificação de Dimensionamento

$$f_{atuante} < f_{admissível}$$

$$2,53 \times 10^{-3} < 4,28 \times 10^{-3}$$

3.3 Dimensionamento das Travessas Superiores Complementares

Comprimento: 1,50 m

3.3.1 Cargas

De acordo com a Norma NBR-6120, o sistema de guarda-corpo deve suportar um esforço de 80 kgf/m (carga acidental). Como a carga permanente da estrutura é praticamente desprezível (2×10^{-8} kgf/m), o sistema de guarda-corpo será dimensionado em função de um esforço de 80 kgf/m.

3.3.2 Esforços

Momento Fletor (M)

$$M = 225 \text{ N.m}$$

Esforço Cortante (V)

$$V = 600 \text{ N}$$

3.3.3 Dimensionamento

3.3.3.1 – Seção 5,0 x 15,0 cm

Flexão simples

- Tensão Normal

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_f^s = \frac{M \times y}{I}$$

$$\sigma_f^s = \frac{(225 \times 0,075)}{14,06 \times 10^{-6}} = 1,20 \times 10^6$$

$$\sigma_f^s = 1,20 \text{ MPa}$$

Tensão Admissível

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times \sigma_f^{rup}$$

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times (127 \times 10^6)$$

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 19,05 \text{ MPa}$$

Proteções Coletivas

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{\text{atuante}} < \sigma_{\text{admissível}}$$

$$1,20 \text{ MPa} < 19,05 \text{ MPa}$$

- Tensão de Cisalhamento

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\tau^s_f = \frac{V \times Ms}{b_0 \times I}$$

$$\tau^s_f = \frac{600 \times (14,06 \times 10^{-5})}{0,05 \times (14,06 \times 10^{-6})}$$

$$\tau^s_f = 0,120 \times 10^6 \text{ Pa} = 1,40 \text{ MPa}$$

Tensão Admissível

$$\overline{\tau^s_f} = 0,10 \times \sigma_{\text{cis}}^{\text{rup}}$$

$$\overline{\tau^s_f} = 0,10 \times (14 \times 10^6)$$

$$\overline{\tau^s_f} = 1,4 \text{ MPa}$$

Verificação de Dimensionamento

$$\tau_{\text{atuante}} < \tau_{\text{admissível}}$$

$$0,120 \text{ MPa} < 1,4 \text{ MPa}$$

- Flecha

$$E^f_{\text{mv}} = 13320 \text{ MPa}$$

Flecha Atuante

$$f = \frac{5 \times q_{total} \times L^4}{384 \times E_{mv} \times I}$$

$$f = \frac{5 \times (800) \times (1,5)^4}{384 \times (13320 \times 10^6) \times (14,06 \times 10^{-6})}$$

$$f = 0,282 \times 10^{-3} m$$

Flecha Admissível

$$\overline{f_{adm}} = \frac{L}{350}$$

$$\overline{f_{adm}} = \frac{1,5}{350}$$

$$\overline{f_{adm}} = 4,286 \times 10^{-3} m$$

Verificação de Dimensionamento

$$f_{atuante} < f_{admissivel}$$

$$0,282 \times 10^{-3} < 4,286 \times 10^{-3}$$

3.4 Dimensionamento dos Montantes

Comprimento: 1,50 m

3.4.1 Cargas

De acordo com a NR 18: Condições e Meio Ambiente do Trabalho na Indústria da Construção, os guarda-corpos serão compostos por travessa superior a 1,20 m, travessa intermediária a 0,70 m e rodapé de 0,20 m, além do fechamento com tela.

3.4.2 Esforços

Momento Fletor (M)

$$M = 1440 \text{ N.m}$$

3.4.3 Dimensionamento

3.4.3.1 Seção 5,0 x 15,0 cm

Compressão Simples

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_f^s = \frac{M \times y}{I}$$

$$\sigma_f^s = \frac{(1440 \times 0,075)}{14,06 \times 10^{-6}} = 7,68 \times 10^6$$

$$\sigma_f^s = 7,68 \text{ MPa}$$

Tensão Admissível

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times \sigma_f^{rup}$$

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 0,15 \times (127 \times 10^6)$$

$$\overline{\sigma_f^{rup}} = 19,05 \text{ MPa}$$

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{atuante} < \sigma_{admissível}$$

$$7,68 \text{ MPa} < 19,05 \text{ MPa}$$

3.5 Dimensionamento da Mão Francesa

Comprimento: 1,50 m

3.5.1 Cargas

$$F = 120 \text{ kg}$$

3.5.2 Esforços

$$P = \frac{F}{\cos 45^\circ}$$

$$P = \frac{120}{\cos 45^\circ}$$

$$P = 1697,06 \text{ N}$$

3.5.3 Dimensionamento

3.5.3.1 Seção 5,0 x 15,0 cm

Índice de esbeltez da zona comprimida

$$\lambda = \frac{l_{fl}}{\sqrt{\frac{I}{S}}}, \text{ onde:}$$

$$I = \text{momento de inércia} = 1,562 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$S = \text{área da seção transversal} = 0,0075 \text{ m}^2$$

$$l_{fl} = \text{comprimento de flambagem} = 1,70 \text{ m}$$

$$\lambda = \frac{1,70}{\sqrt{\frac{1,562 \times 10^{-6}}{0,0075}}} = 117,8$$

Proteções Coletivas

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{3\pi^2 E}{8 \times \sigma_{cp}}} = 30,5$$

Como $\lambda_0 \leq \lambda \leq 140$, temos Peça Longa.

Tensão Atuante ou Tensão de Serviço

$$\sigma_{cp}^s = \frac{P}{s}$$

$$\sigma_{cp}^s = \frac{1697,06}{0,0075}$$

$$\sigma_{cp}^s = 0,2263 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{cp}^s = 0,2263 \text{ MPa}$$

Tensão Admissível

$$\overline{\sigma_{cp}^{PL}} = \frac{\pi^2 \times E}{4 \times \lambda^2}$$

$$\overline{\sigma_{cp}^{PL}} = \frac{(3,1415)^2 \times (13320 \times 10^6)}{4 \times (117,8)^2}$$

$$\overline{\sigma_{cp}^{PL}} = 2,37 \times 10^6 \text{ MPa}$$

Verificação de Dimensionamento

$$\sigma_{atuante} < \sigma_{admissível}$$

$$0,2263 \text{ MPa} < 2,37 \text{ MPa}$$

4 RESULTADO FINAL DO DIMENSIONAMENTO

Neste capítulo apresentaremos o dimensionamento final realizado para alguns tipos de madeira (Eucalipto, Pinus e Pinho), algumas distâncias entre montantes e várias seções utilizadas para os componentes do sistema de guarda-corpo (montantes, travessas, rodapé e mão-francesa).

RESULTADO FINAL DO DIMENSIONAMENTO
TRAVESSA SUPERIOR E INTERMEDIÁRIA – SEÇÕES RECOMENDADAS

SEÇÕES (cm)	EUCALIPTO TERETICORNIS					PINUS ELIOTTI					PINHO BRASILEIRO				
	Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)				
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0
3,0 x 15,0	sim	não	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
3,0 x 20,0	sim	não	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
5,0 x 10,0	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim	não	não
5,0 x 11,5	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim	não	não
5,0 x 15,0	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim	sim	não
5,0 x 20,0	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	não
7,5 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

RESULTADO FINAL DO DIMENSIONAMENTO
TRAVESSA SUPERIOR COMPLEMENTAR – SEÇÕES RECOMENDADAS

SEÇÕES (cm)	EUCALIPTO TERETICORNIS					PINUS ELIOTTI					PINHO BRASILEIRO				
	Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)				
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0
2,5 x 10,0	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	não
2,5 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim
2,5 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
2,5 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
3,0 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
3,0 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

RESULTADO FINAL DO DIMENSIONAMENTO

MONTANTES – SEÇÕES RECOMENDADAS

SEÇÕES (cm)	EUCALIPTO TERETICORNIS					PINUS ELIOTTI					PINHO BRASILEIRO				
	Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)				
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0
3,0 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não	não	sim	sim	não	não	não
3,0 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 10,0	sim	sim	sim	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não
5,0 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
5,0 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
7,5 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim	sim	não
7,5 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
8,0 x 8,0	sim	sim	sim	sim	não	não	não	não	não	não	sim	sim	não	não	não
8,0 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	sim	sim	sim	sim	não
10,0 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12,0 x 12,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

RESULTADO FINAL DO DIMENSIONAMENTO

MÃO-FRANCESA – SEÇÕES RECOMENDADAS

SEÇÕES (cm)	EUCALIPTO TERETICORNIS					PINUS ELIOTTI					PINHO BRASILEIRO				
	Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)				
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0
5,0 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
5,0 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
6,0 x 6,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 11,5	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 15,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
7,5 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
8,0 x 8,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
8,0 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
10,0 x 10,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim
12,0 x 12,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

RESULTADO FINAL DO DIMENSIONAMENTO

RODAPÉ – SEÇÕES RECOMENDADAS

SEÇÕES (cm)	EUCALIPTO TERETICORNIS					PINUS ELIOTTI					PINHO BRASILEIRO				
	Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)					Distância entre Montantes (m)				
	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	1,00	1,25	1,50	1,75	2,0
3,0 x 20,0	sim	não	não	não	não	não	não	não	não	não	sim	não	não	não	não
5,0 x 20,0	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	sim	sim	não
7,5 x 20,0	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim

5 BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações de cargas nas estruturas: NBR-6120**. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ações nas estruturas, propriedades da madeira e dimensionamento nos estados limites de utilização: NBR-7190**. Rio de Janeiro, 1997, 107p.

ATLAS. **Segurança e medicina do trabalho**. 50. Ed. São Paulo: Atlas, 2002. 696p.

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1987, 462p.

SZÜCS, Carlos Alberto. **A Madeira nas estruturas**. 1995, 32 p. Notas de Aula.

VIEIRA, Marcelino Fernandes (Coord.). **Recomendação técnica de procedimentos: medidas de proteção contra quedas de altura**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1999, 33 p.

Sobre o livro

*Composto em Baskerville 11/14
em papel offset 90g/m² (miolo) e
papel couché 180g/m² (capa) no
formato 16x23 cm (fechado)
Impressão: Gráfica da Fundacentro
Tiragem: 5.000
Impressão - 2004*

Equipe de realização

*Coordenação Editorial:
Elisabeth Rossi
Projeto Gráfico miolo e capa:
Marila G. Destro Apolinário*

MINISTÉRIO
DO TRABALHO E EMPREGO



FUNDACENTRO
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

Rua Capote Valente, 710
São Paulo - SP
05409-002
tel.: 3066-6000