

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Barbara Johanna Homem Tholl

**Pré-dimensionamento de estruturas de madeira submetidas à flexão simples reta:** análise  
de critérios e tabelas expeditas sob o ponto de vista da ABNT NBR 7190:1997

Florianópolis

2022

Barbara Johanna Homem Tholl

**Pré-dimensionamento de estruturas de madeira submetidas à flexão simples reta: análise de critérios e tabelas expeditas sob o ponto de vista da ABNT NBR 7190:1997**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Profa. Ângela do Valle, Dra.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Tholl, Barbara Johanna Homem

Pré-dimensionamento de estruturas de madeira submetidas à flexão simples reta : análise de critérios e tabelas expeditas sob o ponto de vista da ABNT NBR 7190:1997 / Barbara Johanna Homem Tholl ; orientadora, Ângela do Valle, 2022.

113 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, , Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. madeira. 3. dimensionamento. 4. pré-dimensionamento. 5. vigas. I. do Valle, Ângela. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Barbara Johanna Homem Tholl

**Pré-dimensionamento de estruturas de madeira submetidas à flexão simples reta: análise**  
de critérios e tabelas expeditas sob o ponto de vista da ABNT NBR 7190:1997

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de  
“Engenheiro Civil” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil

Florianópolis, 02 de dezembro de 2022.

Profa. Liane Ramos da Silva, Dra.  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Profa. Ângela do Valle, Dra.  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Tiago Morkis Siqueira, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Humberto Brambila de Salles  
Avaliador

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente aos meus pais, Mari e Edson. Vocês são minha base e o motivo principal de eu ter continuado e chegado onde cheguei. À minha mãe, que sempre esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis e ao meu pai, que nunca desistiu de mim.

Agradeço ao meu namorado, André, que nunca mediu esforços para me ajudar e me lembrar de que eu era capaz. Esteve ao meu lado nos momentos mais excepcionais deste trabalho e tornou esta jornada mais leve.

Agradeço à minha família que sempre esteve ao meu lado, torcendo para a minha felicidade e o meu sucesso. Obrigada por todos os conselhos, conversas, abraços e apoio. Vocês são tudo.

Agradeço também à minha extraordinária orientadora, Ângela, que foi incansável em nossas inúmeras reuniões. Obrigada por toda a contribuição acadêmica que me trouxeste. Esse trabalho não seria possível sem você.

Agradeço às minhas amigas e aos meus amigos. Sempre me dando forças, conselhos e apoio. Obrigada por acreditarem no meu potencial.

Por fim, agradeço a todos aqueles, que de alguma forma, participaram da minha jornada pessoal e acadêmica e contribuíram para eu me tornar quem sou hoje.

## RESUMO

A madeira é um material resistente e leve, podendo ser utilizada para fins estruturais e de sustentação. Para fins estruturais, em específico, é necessário um dimensionamento correto para que a estrutura de madeira possa ter um bom desempenho durante sua vida útil. A ABNT NBR 7190 (1997) estabelece critérios de dimensionamento para estruturas de madeira. Por vezes, o projetista busca um critério de pré-dimensionamento para estimar as dimensões da seção transversal de um elemento estrutural no anteprojeto, antes de dimensionar segundo a norma, para uma estimativa inicial. Nesse trabalho foram avaliados dois critérios disponíveis para pré-dimensionamento, perante a norma ABNT NBR 7190 (1997), para vigas de madeira biapoiada de seção transversal retangular com carga uniformemente distribuída submetidas à solicitação de flexão simples reta. Segundo as análises, os critérios de pré-dimensionamento não atenderam aos critérios normativos em sua totalidade para os casos de dimensões e carregamentos testados. Em uma das situações foram alguns estados-limites últimos que não foram satisfeitos e, em outras situações, alguns casos de estados-limites de serviço.

**Palavras-chave:** dimensionamento, pré-dimensionamento, estruturas de madeira, viga, flexão simples reta

## **ABSTRACT**

Wood is a resistant and light material and can be used for structural and support purposes. A correct structural design is necessary for structural purposes so that the timber wooden structures show proper performance during their useful life. Brazilian code ABNT NBR 7190 (1997) sets the correct design for timber structures. Sometimes, the designer seeks a pre design criterion to estimate the cross-section dimensions of a structural element before designing according to the standard code. In this work were evaluated two pre-design criteria in accordance with the ABNT NBR 7190 (1997) standard. The studies were led for simply supported timber beams with rectangular cross-section and uniformly distributed load submitted to straight bending. According to the analyses, the pre-design criteria did not fully meet the normative criteria for the dimensions and load values tested. In some studied cases the ultimate limit states are not satisfied and in others the requirements of service limit state.

**Keywords:** design, pre-design, wooden structures, beam, simple straight bending

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Direções principais da madeira.....	14
Figura 2 - Pré-dimensionamento de estruturas de madeira por Dias (2013).....	41
Figura 3 - Vigas madeira maciça por Dias (2013).....	42
Figura 4 – Vista superior de vigas com indicação de espaçamento entre vigas “s”.....	45
Figura 5 - Gráfico de situação de viga e tábuas sem piso cerâmico, com carga acidental de dormitório e base $b = 5,0$ cm.....	57
Figura 6 - Gráfico de situação de viga e tábuas sem piso cerâmico, com carga acidental de dormitório e base $b = 7,5$ cm.....	58
Figura 7 - Gráfico de situação de viga e tábuas com piso cerâmico, com carga acidental de corredor de uso comum e base $b = 5,0$ cm.....	59
Figura 8 - Gráfico de situação de viga e tábuas com piso cerâmico, com carga acidental de corredor de uso comum e base $b = 7,5$ cm.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de carregamento. ....	17
Tabela 2 - Fatores de combinação e utilização. ....	20
Tabela 3 - Ações permanentes de pequena variabilidade. ....	22
Tabela 4 - Ações permanentes de grande variabilidade. ....	23
Tabela 5 - Ações permanentes indiretas. ....	23
Tabela 6 - Ações variáveis ....	24
Tabela 7 - Classes de umidade. ....	28
Tabela 8 - Classes de resistência das coníferas. ....	29
Tabela 9 - Classes de resistência das dicotiledôneas. ....	30
Tabela 10 - Valores de $k_{mod,1}$ . ....	31
Tabela 11 - Valores de $k_{mod,2}$ . ....	31
Tabela 12 – Parâmetros utilizados para teste de aplicabilidade do critério estabelecido por Dias (2013) para situação sem piso cerâmico e com carga de dormitório ....	50
Tabela 13 - Parâmetros utilizados para teste de aplicabilidade do critério estabelecido por Dias (2013) para situação com piso cerâmico e carga de corredor de uso comum ....	53
Tabela 14 - Coeficiente de modificação ( $k_{mod}$ ). ....	55
Tabela 15 - Valores de resistência da madeira da viga biapoiada em estudo. ....	56
Tabela 16 - $L_{m\acute{a}x}$ para dicotiledôneas C20 ....	61
Tabela 17 - $L_{m\acute{a}x}$ para dicotiledôneas C30 ....	61
Tabela 18 - $L_{m\acute{a}x}$ para dicotiledôneas C40 ....	61
Tabela 19 - $L_{m\acute{a}x}$ para dicotiledôneas C60 ....	61
Tabela 20 - $L_{m\acute{a}x}$ para coníferas C20. ....	62
Tabela 21 - $L_{m\acute{a}x}$ para coníferas C25. ....	62
Tabela 22 - $L_{m\acute{a}x}$ para coníferas C30. ....	62
Tabela 23 – Cargas $p_d$ e $p$ , seção 7,5 cm x 7,5 cm para dicotiledôneas C20. ....	63

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ELS Estado Limite de Serviço

ELU Estado Limite Último

## LISTA DE SÍMBOLOS

A - área

$A_w$  - área da seção transversal bruta da peça de madeira

$E_w$  - módulo de deformação longitudinal da madeira

F - ações (em geral), forças (em geral)

$F_d$  - valor de cálculo das ações

$F_k$  - valor característico das ações

I - momento de inércia

L - vão, comprimento

M - momento (em geral, momento fletor)

N - força normal ( $N_d$ ,  $N_k$ ,  $N_u$ )

Q - ação acidental (variável) ( $Q_d$ ,  $Q_k$ ,  $Q_u$ )

R - reação de apoio, resultante de tensões, resistência

U – umidade

V - força cortante ( $V_u$ ,  $V_d$ ,  $V_k$ )

W - carga do vento, módulo de resistência à flexão

b - largura

$b_w$  - largura da alma das vigas

f - resistência de um material

$f_d$  - valor de cálculo da resistência

$f_k$  - valor característico da resistência

$f_m$  - valor médio da resistência

$f_w$  - resistência da madeira

g - carga distribuída permanente (peso específico para evitar confusão com  $\gamma$  coeficiente de segurança)

h - altura, espessura

k - coeficiente (em geral)

$k_{mod}$  - coeficiente de modificação

q - carga acidental distribuída

s - espaçamento

$\beta$  (beta) - ângulo, coeficiente, razão

$\gamma$  (gama) - coeficiente de segurança

$\gamma_f$  - coeficiente de ponderação das ações

$\gamma_m$  - coeficiente de ponderação das resistências dos materiais

$\gamma_w$  - coeficiente de minoração da resistência da madeira

$\delta$  (delta) - coeficiente de variação

$\varepsilon$  (épsilon) - deformação normal específica

$\varepsilon_w$  - deformação específica da madeira

$\lambda$  (lambda) - índice de esbeltez

$\pi$  (pi) - emprego matemático apenas

$\rho$  (rô) - massa específica (densidade)

$\rho_{bas}$  - densidade básica

$\sigma$  (sigma) - tensão normal ( $\sigma_d, \sigma_k, \sigma_u$ )

$\tau$  (tau) - tensão tangencial ( $\tau_d, \tau_k, \tau_u$ )

$\psi$  (psi) – coeficiente

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 OBJETIVOS.....	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
2.1 INTRODUÇÃO À MADEIRA .....	13
2.2 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NBR 7190 (1997).....	16
2.3 CRITÉRIOS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES RETA .....	40
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>44</b>
3.1 DIAS (2013).....	44
3.2 PFEIL E PFEIL (2003).....	46
<b>4 RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
4.1 DIAS (2013).....	49
4.2 PFEIL E PFEIL (2003).....	61
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>65</b>
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	65
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE A – Comparações de ELU e ELS para vigas com piso de tábuas e carga acidental de dormitório .....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE B – Comparações de ELU e ELS para vigas com piso de tábuas com cerâmica e carga acidental de corredor de uso comum .....</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE C – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 11,5 cm para dicotiledôneas C20 .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE D – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 15 cm para dicotiledôneas C20 .....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE E – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 23 cm para dicotiledôneas C20 .....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE F – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 30,5 cm para dicotiledôneas C20 .....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE G – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 5 cm x 15 cm para dicotiledôneas C20.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE H – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 5 cm x 20 cm para dicotiledôneas C20.....</b>	<b>94</b>

<b>APÊNDICE I – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math> para dicotiledôneas C30.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE J – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math> para dicotiledôneas C40 .....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE K – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math> para dicotiledôneas C60 .....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE L – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 7,5 cm para coníferas C20.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE M – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 11,5 cm para coníferas C20.....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE N – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 15 cm para coníferas C20.....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE O – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 23 cm para coníferas C20 .....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE P – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 7,5 cm x 30,5 cm para coníferas C20 .....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE Q – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 5 cm x 15 cm para coníferas C20 .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE R – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math>, seção 5 cm x 20 cm para coníferas C20.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE S – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math> para coníferas C25.....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE T – Cargas <math>p_d</math> e <math>p</math> para coníferas C30 .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO A – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C20.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXO B – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C30.....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO C – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C40.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO D – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C60.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO E – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para coníferas C20 .....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO F – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para coníferas C25 .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO G – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para coníferas C30 .....</b>	<b>113</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Utilizados na construção civil, elementos em estruturas de madeira podem ser um ótimo método construtivo. Segundo Correia (2009), a madeira apresenta um conjunto de características mecânicas, que a tornam ainda mais vantajosa, como ser um material leve perante a resistência oferecida e por seu aspecto estético. Porém, considerando todas as propriedades, a madeira ainda não é um material usado na construção em todo o seu potencial devido ao seu custo e questões culturais. As tensões e deformações em um elemento estrutural genérico de madeira, submetido a uma solicitação arbitrária, são complexas. O dimensionamento correto destes elementos exige uma abordagem analítica rigorosa, que leve em conta a existência de estados tridimensionais de deformação e de tensão, e sobretudo a natureza ortotrópica da madeira.

A importância do dimensionamento na construção civil está atrelada ao desempenho satisfatório para o elemento. O desempenho da estrutura em sua vida útil perante às solicitações para as quais ela foi analisada está atrelado ao dimensionamento da mesma. O pré-dimensionamento consiste em uma análise preliminar do dimensionamento, servindo para arbitrar valores que implicam no elemento e que servirão para o início do planejamento estrutural. Portanto, para o pré-dimensionamento de um elemento de madeira é necessária muita atenção e ponderação. Assim, neste trabalho buscou-se avaliar o quão aplicáveis são certos critérios de pré-dimensionamento de vigas de madeira.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar a efetividade de critérios de pré-dimensionamento sugeridos em literatura sob o ponto de vista da ABNT NBR 7190 (1997) de flexão simples reta.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Destacar o que a ABNT NBR 7190 (1997) alude para o dimensionamento de flexão simples reta de estruturas de madeiras;

- Verificar se os autores citados no presente trabalho apresentaram suficientes critérios para o pré-dimensionamento de estruturas de madeiras submetidas à flexão simples reta;
- Apresentar os resultados comparativos entre os resultados obtidos e os dos autores citados.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO À MADEIRA

Segundo Correia (2009), a madeira é um recurso natural, amplamente disponível em várias regiões do mundo, que com o devido cuidado pode a curto prazo, tornar-se um material estrutural frequentemente utilizado. O baixo custo energético e nível de poluição dispensado na sua produção, garante um impacto ambiental muito menor quando comparado com outro tipo de estruturas.

As árvores utilizadas em aplicações estruturais são classificadas quanto à sua anatomia em:

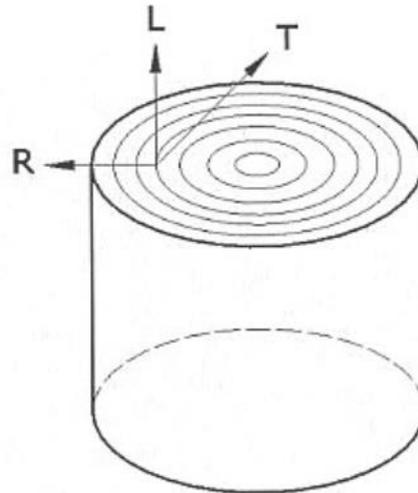
- Coníferas: conhecidas internacionalmente como madeiras moles ou “*softwoods*”, têm menor resistência e menor densidade quando comparadas às dicotiledôneas. Suas folhas são perenes com formato de escama ou agulha, sendo típicas de regiões de clima frio. Na América do Sul, os dois exemplos mais importantes são o Pinho do Paraná e o Pinus;
- Dicotiledôneas: são usualmente designadas como madeiras duras ou “*hardwoods*”, pela sua maior resistência e maior densidade. São madeiras que se aclimatam melhor em regiões de clima quente. Nesta categoria encontram-se as principais espécies utilizadas na construção civil no Brasil como o Eucalipto (*Eucalyptus Grandis*).

As propriedades mecânicas da madeira são dependentes de uma série de fatores externos e de sua própria composição química. A seguir, serão listados alguns deles.

#### 2.1.1 Anisotropia da madeira

Devido à orientação das células, a madeira é um material anisotrópico, apresentando três direções principais: longitudinal, radial e tangencial, conforme a figura 1. A diferença de propriedades entre as direções radial e tangencial raramente tem importância prática, bastando diferenciar as propriedades na direção das fibras principais (direção longitudinal) e na direção perpendicular às mesmas fibras.

Figura 1 - Direções principais da madeira.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

### 2.1.2 Umidade

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), a umidade da madeira tem grande importância sobre suas propriedades. O grau de umidade  $U$  é o peso de água contido na madeira expresso como uma porcentagem do peso da madeira seca em estufa  $P_s$  (até a estabilização do peso).

$$U(\%) = \frac{P_i - P_s}{P_s} \times 100 \quad (1)$$

Onde  $P_i$  é o peso inicial da madeira.

A quantidade de água das madeiras verdes ou recém-cortadas varia muito com as espécies e com a estação do ano. Em face do efeito da umidade nas outras propriedades da madeira, é comum referirem-se estas propriedades a um grau de umidade-padrão. No Brasil adota-se 12% como umidade padrão de referência. Devido à natureza higroscópica da madeira, o grau de umidade de uma peça em serviço varia continuamente, podendo haver variações diárias ou de estação.

### 2.1.3 Tipos de madeira de construção

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), as madeiras utilizadas nas construções podem classificar-se em duas categorias:

- Madeiras maciças
  - Madeira bruta ou roliça;
  - Madeira falquejada;
  - Madeira serrada.
- Madeiras industrializadas
  - Madeira compensada;
  - Madeira laminada (ou micro laminada) e colada;
  - Madeira recomposta.

A madeira bruta ou roliça é empregada em forma de tronco, servindo para estacas, escoramentos, postes, colunas, entre outras.

A madeira falquejada tem as faces laterais aparadas a machado, formando seções maciças, quadradas ou retangulares; é utilizada em estacas, cortinas cravadas, pontes, entre outras.

A madeira serrada é o produto estrutural de madeira mais comum. O tronco é cortado nas serrarias, em dimensões padronizadas para o comércio, passando depois por um período de secagem. Além dos defeitos oriundos de sua fabricação, a madeira serrada apresenta limitações geométricas tanto em termos de comprimento quanto de dimensões da seção transversal. Para ampliar o uso da madeira em construção, diversos produtos foram desenvolvidos na Europa e na América do Norte de grandes dimensões, com melhores propriedades mecânicas que a madeira utilizada como base de fabricação.

O produto mais antigo é a madeira compensada formada pela colagem de lâminas finas, com as direções das fibras alternadamente ortogonais.

A madeira laminada e colada é o produto estrutural de madeira mais importante nos países da Europa e da América do Norte. A madeira selecionada é cortada em lâminas, de 15 mm a 50 mm de espessura, que são coladas sob pressão, formando-se grandes vigas, em geral de seção retangular.

Sob a designação de madeira recomposta encontram-se produtos na forma de placas desenvolvidos a partir de resíduos de madeira em flocos, lamelas ou partículas. Foram desenvolvidos também alguns produtos fabricados à base de lâminas finas (1 a 5 mm) que são coladas e prensadas com as fibras orientadas paralelamente para formar vigas ou painéis largos e compridos.

## 2.2 DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A NBR 7190 (1997)

Uma vez determinados os parâmetros de projeto, especificado o sistema construtivo a ser adotado, pode-se utilizar a ABNT NBR 7190 (1997) para a verificação do dimensionamento.

Assim para a análise do pré-dimensionamento de estruturas de madeira, submetidas a flexão simples reta, realizada neste trabalho tem como base a ABNT NBR 7190 (1997). Os itens que seguem abaixo estão de acordo com o que prevê a norma.

### 2.2.1 Ações

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), item 5, as ações são as causas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas. As solicitações são consideradas como ações diretas e as deformações impostas como ações indiretas.

#### 2.2.1.1 Tipos de ações

- Ações permanentes: ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua vida média, durante praticamente toda a vida da construção;
- Ações variáveis: ocorrem com valores cuja variação é significativa durante a vida da construção. Dentre as ações variáveis tem-se as cargas acidentais, que atuam nas construções em função do seu uso como pessoas, mobiliário, veículos e vento.
- Ações excepcionais: solicitações que possuem duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas no projeto de determinadas estruturas.

#### 2.2.1.2 Combinação de ações

As ações permanentes são consideradas em sua totalidade. Das ações variáveis, são consideradas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança. As ações incluídas em cada combinação devem ser consideradas com seus valores representativos, multiplicados pelos respectivos coeficientes de ponderação das ações.

### 2.2.1.3 Classes de carregamento

Um carregamento é especificado pelo conjunto das ações que têm probabilidade não desprezível de atuação simultânea. Em cada tipo de carregamento as ações devem ser combinadas de diferentes maneiras, a fim de serem determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura. A classe de carregamento de qualquer combinação de ações é definida pela duração acumulada prevista para a ação variável tomada como a ação variável principal na combinação considerada. As classes de carregamento estão especificadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Classes de carregamento.

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

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

### 2.2.2 Carregamentos normal, especial, excepcional e de construção

O carregamento normal inclui apenas as ações decorrentes do uso previsto para a construção. Admite-se que um carregamento normal corresponda a classe de carregamento de longa duração, podendo ter duração igual ao período de referência da estrutura. Ele sempre deve ser considerado na verificação da segurança, tanto em relação ao Estado Limite Último (ELU) quanto ao Estado Limite de Serviço (ELS). Em um carregamento normal, as eventuais ações de curta ou média duração terão seus valores atuantes reduzidos a fim de que a resistência da madeira possa ser considerada como correspondente apenas às ações de longa duração.

O carregamento especial inclui a atuação de variáveis de natureza ou intensidade especiais, cujos efeitos superam em intensidade os efeitos produzidos pelas ações consideradas no carregamento normal. Admite-se que um carregamento especial corresponda à classe de carregamento definida pela duração acumulada prevista para a ação variável especial considerada.

O carregamento excepcional inclui ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos. Admite-se que um carregamento excepcional corresponda à classe de carregamento de duração instantânea.

O carregamento de construção é transitório e deve ser definido em cada caso particular em que haja risco de ocorrência de ELU já durante a construção. Admite-se que um carregamento de construção corresponde à classe de carregamento definida pela duração acumulada da situação de risco.

### **2.2.3. Situações de projeto**

De acordo com a ABNT NBR 7190 (1997), para estruturas usuais são consideradas as seguintes situações de projeto: duradoura, transitória e excepcional. Para cada estrutura particular devem ser especificadas as situações de projeto a considerar, não sendo necessário levar em conta as três possíveis situações de projeto em todos os tipos de construção.

#### *2.2.3.1 Situações duradouras*

As situações duradouras são as que podem ter duração igual ao período de referência da estrutura. As situações duradouras são consideradas no projeto de todas as estruturas. Nas situações duradouras, para a verificação da segurança em relação aos ELU consideram-se apenas as combinações últimas normais de carregamento e, para os ELS, as combinações de longa duração (combinações quase permanentes) ou as combinações de média duração (combinações frequentes).

#### *2.2.3.2 Situações transitórias*

As situações transitórias são as que têm duração muito menor que o período de vida da construção. São consideradas apenas para as estruturas de construções que podem estar

sujeitas a algum carregamento especial, que deve ser explicitamente especificado para o projeto. Em geral, é considerada apenas a verificação relativa a ELU. Em casos especiais pode ser exigida a verificação da segurança em relação ao ELS, considerando combinações de ações de curta duração (combinações raras) ou combinações de duração média (combinações especiais).

### 2.2.3.3 Situações excepcionais

Têm duração extremamente curta. São consideradas somente na verificação da segurança em relação ao ELU. As situações excepcionais de projeto somente devem ser consideradas quando a segurança em relação às ações excepcionais contempladas não puder ser garantida de outra forma, como o emprego de elementos físicos de proteção da construção, ou a modificação da concepção estrutural adotada. Devem ser explicitamente especificadas para o projeto das construções particulares para as quais haja necessidade dessa consideração.

## 2.2.4 Valores representativos das ações

### 2.2.4.1 Valores reduzidos de combinação. ( $\Psi_0 F_k$ )

Os valores reduzidos de combinação são determinados a partir dos valores característicos pela expressão  $\Psi_0 F_k$  e são empregados nas condições de segurança relativas a ELU, quando existem ações variáveis de diferentes naturezas. Os valores  $\Psi_0 F_k$  levam em conta que é muito baixa a probabilidade de ocorrência simultânea de duas ações características de naturezas diferentes, ambas com seus valores característicos. Por isto em cada combinação de ações, uma ação característica variável é considerada como a principal, entrando com seu valor característico  $F_k$  e as demais ações variáveis de naturezas diferentes entram com seus valores reduzidos de combinação  $\Psi_0 F_k$ .

### 2.2.4.2 Valores reduzidos de utilização ( $\Psi_1 F_k$ e $\Psi_2 F_k$ )

Na verificação da segurança relativa a ELS, as ações variáveis são consideradas com valores correspondentes às condições de serviço, empregando-se os valores frequentes, ou de média duração, calculados pela expressão  $\Psi_1 F_k$  e os valores quase permanentes, ou de longa duração, calculados pela expressão  $\Psi_2 F_k$ .

### 2.2.4.3 Fatores de combinação e fatores de utilização

Os valores usuais estão especificados na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de combinação e utilização.

Ações em estruturas correntes	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
- Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
- Pressão dinâmica do vento	0,5	0,2	0
Cargas acidentais dos edifícios	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
- Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos fixos, nem de elevadas concentrações de pessoas	0,4	0,3	0,2
- Locais onde há predominância de pesos de equipamentos fixos, ou de elevadas concentrações de pessoas	0,7	0,6	0,4
- Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
- Pontes de pedestres	0,4	0,3	0,2*
- Pontes rodoviárias	0,6	0,4	0,2*
- Pontes ferroviárias (ferrovias não especializadas)	0,8	0,6	0,4*

\* Admite-se  $\Psi_2 = 0$  quando a ação variável principal corresponde a um efeito sísmico.

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

### 2.2.5 Ações na estrutura de madeira

No projeto das estruturas correntes de madeira podem ser consideradas as ações seguintes, além de outras que possam agir em casos especiais.

- Carga permanente;
- Cargas acidentais verticais;
- Impacto vertical;

- Impacto lateral;
- Forças longitudinais;
- Força centrífuga;
- Vento.

#### *2.2.5.1 Carga permanente*

É constituída pelo peso próprio da estrutura e pelo peso das partes fixas não estruturais. Na avaliação do peso próprio da estrutura, admite-se que a madeira esteja na classe 1 de umidade. Na falta de determinação experimental específica, permite-se adotar os valores da densidade aparente indicadas em 2.2.9.3. para as diferentes classes de resistência da madeira. O peso próprio real, avaliado depois do dimensionamento final da estrutura, não deve diferir de mais de 10% do peso próprio inicialmente admitido no cálculo.

#### *2.2.5.2 Cargas acidentais verticais*

As cargas acidentais verticais são consideradas como de longa duração. As cargas acidentais são fixadas pela NBR 6120, NBR 7187, NBR 7188 e NBR 7189, ou por outras normas que venham a se estabelecer para casos especiais, e devem ser dispostas nas posições mais desfavoráveis para a estrutura.

#### *2.2.5.3 Vento*

A ação do vento, agindo com seu valor característico, em princípio é uma carga de curta duração. A ação do vento sobre as edificações deve ser considerada de acordo com a NBR 6123. De acordo com 2.2.2 (carregamento normal), para se levar em conta a maior resistência da madeira sob a ação de cargas de curta duração, na verificação da segurança em relação a ELU, apenas na combinação de ações de longa duração em que o vento representa a ação variável principal, as solicitações nas peças de madeira devidas à ação do vento serão multiplicadas por 0,75.

### **2.2.6 Valores de cálculo das ações**

Os valores de cálculo das ações são obtidos a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação  $\gamma_f$ . Tendo em vista as diversas ações levadas em conta no projeto, o índice do coeficiente  $\gamma_f$ , pode ser alterado para identificar a ação considerada,  $\gamma_g$ ,  $\gamma_q$ ,  $\gamma_e$ , para as ações permanentes, ações variáveis e para os efeitos das deformações impostas (ações indiretas), respectivamente.

#### 2.2.6.1 ELS

Para avaliação do ELS, os coeficientes de ponderação das ações são tomados com o valor de  $\gamma_f = 1,0$ , salvo exigência em contrário, expressa em norma especial.

#### 2.2.6.2 ELU – Ações permanentes

Para uma dada ação permanente, todas as suas parcelas são ponderadas pelo mesmo coeficiente  $\gamma_g$ , não se admitindo que algumas de suas partes possam ser majoradas e outras minoradas. Para os materiais sólidos que possam provocar empuxos, a componente vertical é considerada como uma ação e a horizontal como outra ação, independente da primeira. Os coeficientes de ponderação  $\gamma_g$  relativos às ações permanentes que figuram nas combinações últimas de ações, salvo indicação em contrário expressa em norma particular, devem ser tomados com os valores básicos a seguir indicados.

Para o peso próprio da estrutura e para outras ações permanentes de pequena variabilidade adotam-se os valores indicados na Tabela 3. (Considera-se de pequena variabilidade o peso da madeira classificada estruturalmente cujo peso específico tenha coeficiente de variação não superior a 10%).

Tabela 3 - Ações permanentes de pequena variabilidade.

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 1,0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 1,0$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,1$	$\gamma_g = 1,0$

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

Para as ações permanentes de grande variabilidade e para as ações constituídas pelo peso próprio das estruturas e dos elementos construtivos permanentes não estruturais e dos equipamentos fixos, todos considerados globalmente, quando o peso próprio da estrutura não supera 75% da totalidade dos pesos permanentes, adotam-se os valores da Tabela 4.

Tabela 4 - Ações permanentes de grande variabilidade.

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,4$	$\gamma_g = 0,9$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,3$	$\gamma_g = 0,9$
Excepcionais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0,9$

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

Para as ações permanentes indiretas, com os efeitos de recalques de apoio e de retração dos materiais, adotam-se os valores da Tabela 5.

Tabela 5 - Ações permanentes indiretas.

Combinações	Para efeitos	
	Desfavoráveis	Favoráveis
Normais	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0$
Especiais ou de construção	$\gamma_g = 1,2$	$\gamma_g = 0$
Excepcionais	$\gamma_g = 0$	$\gamma_g = 0$

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

### 2.2.6.3 ELU – Ações variáveis

Os coeficientes de ponderação  $\gamma_q$  das ações variáveis majoram os valores representativos das ações variáveis que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança da estrutura. As parcelas de ações variáveis que provocam efeitos favoráveis não são consideradas nas combinações de ações. As ações variáveis que tenham parcelas favoráveis e desfavoráveis, que fisicamente não possam atuar separadamente, devem ser consideradas conjuntamente como uma ação única. Os coeficientes de ponderação  $\gamma_q$  relativos às ações variáveis que figuram nas combinações últimas, salvo indicações em contrário, expressa em norma particular, devem ser tomados com os valores básicos indicados na Tabela 6.

Tabela 6 - Ações variáveis

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

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

## 2.2.7 Combinação de ações em ELU

### 2.2.7.1 Combinações últimas normais

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[ F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad (2)$$

Onde  $F_{Gi,k}$  representa o valor característico das ações permanentes,  $F_{Q1,k}$  o valor característico da ação variável principal e  $\Psi_{0j} F_{Qj,k}$  os valores reduzidos de combinação das demais ações variáveis, determinados de acordo com 2.2.4.3 (Fatores de combinação e fatores de utilização). Em casos especiais devem ser consideradas duas combinações referentes às ações permanentes; em uma delas admite-se que as ações permanentes sejam desfavoráveis e na outra que sejam favoráveis à segurança.

### 2.2.7.2 Combinações últimas especiais ou de construção

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + \gamma_Q \left[ F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \right] \quad (3)$$

Onde  $F_{Gi,k}$  representa o valor característico das ações permanentes,  $F_{Q1,k}$  representa o valor característico da ação variável considerada como principal para a situação transitória,  $\Psi_{0j,ef}$  é igual ao fator  $\Psi_0$  adotado nas combinações normais, salvo quando a ação principal  $F_{Q1}$

tiver um tempo de atuação muito pequeno, caso em que  $\Psi_{0j,ef}$  pode ser tomado com o correspondente  $\Psi_{2j}$  dado em 2.2.4.3. (Fatores de combinação e fatores de utilização).

### 2.2.7.3 Combinações últimas excepcionais

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} F_{Gi,k} + F_{Q,exc} + \gamma_Q \sum_{j=1}^n \Psi_{0j,ef} F_{Qj,k} \quad (4)$$

Onde  $F_{Q,exc}$  é o valor da ação transitória excepcional e os demais termos representam valores efetivos definidos em 2.2.7.2.

## 2.2.8 Combinações de ações em ELS

### 2.2.8.1 Combinações de longa duração

São consideradas no controle usual das deformações das estruturas. Nestas combinações, todas as ações variáveis atuam com seus valores correspondentes à classe de longa duração.

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (5)$$

Onde os coeficientes  $\Psi_{2j}$  estão especificados em 2.2.4.3. (Fatores de combinação e fatores de utilização).

### 2.2.8.2 Combinações de média duração

São consideradas quando o controle das deformações é particularmente importante, como no caso de existirem materiais frágeis não estruturais ligados à estrutura. Nestas condições, a ação variável principal FQ1 atua com seu valor correspondente à classe de média

duração e as demais ações variáveis atuam com seus valores correspondentes à classe de longa duração.

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \Psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (6)$$

Onde  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$  estão dados em 2.2.4.3. (Fatores de combinação e fatores de utilização).

### 2.2.8.3 Combinações de curta duração

Combinações de curta duração ou combinações raras, são consideradas quando, para a construção, for particularmente importante impedir defeitos decorrentes das deformações da estrutura. Nessas combinações, a ação variável principal  $F_{Q1}$  atua com seu valor característico e as demais ações variáveis atuam com seus valores correspondentes à classe de média duração.

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{1j} F_{Qj,k} \quad (7)$$

Onde os coeficientes  $\Psi_1$  estão dados em 2.2.4.3. (Fatores de combinação e fatores de utilização).

### 2.2.8.4 Combinações de duração instantânea

Consideram a existência de uma ação variável especial  $F_{Q,especial}$  que pertence a classe de duração imediata. As demais ações variáveis são consideradas com valores que efetivamente possam existir concomitantemente com a carga especialmente definida para esta combinação. Na falta de outro critério, as demais ações podem ser consideradas com seus valores de longa duração.

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q,especial} + \sum_{j=1}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (8)$$

Onde os coeficientes  $\Psi_2$  estão dados em 2.2.4.3. (Fatores de combinação e fatores de utilização).

## 2.2.9 Propriedades da madeira

### 2.2.9.1 Propriedades a considerar

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), item 6, 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 normal às fibras. Devem também distinguir-se os valores correspondentes às diferentes classes de umidade.

#### 2.2.9.1.1 Resistência

É a aptidão da matéria suportar tensões. A resistência é determinada convencionalmente pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos de prova isentos de defeitos do material considerado, 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 são considerados por meio dos coeficientes de modificação  $k_{mod}$  adiante especificados.

#### 2.2.9.1.2 Rigidez

A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear. O módulo de elasticidade  $E_{w0}$  na direção paralela às fibras é medido no ensaio de compressão paralela às fibras e o módulo de

elasticidade  $E_{w90}$  na direção normal às fibras é medido no ensaio de compressão normal às fibras. Na falta de determinação experimental específica, permite-se adotar:

$$E_{w90} = \frac{1}{20} E_{w0} \quad (9)$$

### 2.2.9.1.3 Umidade

O projeto das estruturas de madeira deve ser feito admitindo-se umas das classes de umidade especificadas na Tabela 7. As classes de umidade têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas.

Tabela 7 - Classes de umidade.

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

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997)

### 2.2.9.2 Condições de referência

#### 2.2.9.2.1 Condição padrão de referência

Os valores especificados na norma para as propriedades de resistência e de rigidez da madeira são os correspondentes à classe 1 de umidade, que se constitui na 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 20%, devem ser apresentados com os valores corrigidos para a umidade padrão de 12%, classe 1. A resistência deve ser corrigida pela expressão:

$$f_{12} = f_{u\%} \left[ 1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (10)$$

E a rigidez por:

$$E_{12} = E_{u\%} \left[ 1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \quad (11)$$

Admitindo-se que a resistência e a rigidez da madeira sofrem apenas pequenas variações para umidade acima de 20%. Admite-se como desprezível a influência da temperatura na faixa usual de utilização de 10°C a 60°C.

### 2.2.9.3 Classes de resistência

As classes de resistência das madeiras têm por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais.

Tabela 8 - Classes de resistência das coníferas.

Coníferas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0k}$ MPa	$f_{vk}$ MPa	$E_{c0,m}$ MPa	$\rho_{bas,m}$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{parente}$ kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	3500	400	500
C 25	25	5	8500	450	550
C 30	30	6	14500	500	600

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7190 (1997).

Tabela 9 - Classes de resistência das dicotiledôneas.

Dicotiledôneas					
(Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0k}$	$f_{vk}$	$E_{c0,m}$	$\rho_{bas,m}$	$\rho_{aparente}$
	MPa	MPa	MPa	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
C 20	20	4	9500	500	650
C 30	30	5	14500	650	800
C 40	40	6	19500	750	950
C 60	60	8	24500	800	1000

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7190 (1997).

#### 2.2.9.4 Valores representativos

##### 2.2.9.4.1 Coeficiente de modificação

Os coeficientes de modificação  $k_{mod}$  afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade. O coeficiente de modificação  $k_{mod}$  é formado pelo produto:

$$k_{mod} = k_{mod,1} \times k_{mod,2} \times k_{mod,3} \quad (12)$$

O coeficiente parcial de modificação  $k_{mod,1}$ , que considera a classe de carregamento e o tipo de material empregado é dado pela Tabela 10, devendo ser escolhido conforme 2.2.2. O coeficiente parcial de modificação  $k_{mod,2}$ , que leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado é dado pela Tabela 11. O coeficiente parcial de modificação  $k_{mod,3}$  leva em consideração se a madeira é de primeira ou segunda categoria. No caso de madeira de segunda categoria, admite-se  $k_{mod,3} = 0,8$ , e no caso de primeira categoria,  $k_{mod,3} = 1$ . A condição de madeira de primeira categoria somente pode ser admitida se todas as peças estruturais forem classificadas como isentas de defeitos, por meio de método visual normalizado, e também submetidas a uma classificação mecânica que garanta a homogeneidade da rigidez das peças que compõem o lote de madeira a ser empregado, Não se

permite classificar as madeiras como de primeira categoria apenas por meio de método visual de classificação. O coeficiente parcial de modificação  $k_{mod,3}$  para madeira lamelada colada leva em conta a curvatura da peça, valendo  $k_{mod,3} = 1,0$  para peças retas e para peças curvas:

$$k_{mod,3} = 1 - 2000 \left( \frac{t}{r} \right)^2 \quad (13)$$

Onde  $t$  é a espessura das lâminas e  $r$  o menor raio de curvatura das lâminas que compõem a seção transversal resistente.

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

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

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

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

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

Fonte: ABNT NBR 7190 (1997).

#### 2.2.9.4.2 Coeficiente de ponderação da resistência para ELU

O coeficiente de ponderação para ELU decorrentes de tensões de compressão paralela às fibras tem o valor básico  $\gamma_{wc} = 1,4$ . O coeficiente de ponderação para ELU decorrente de

tensões de tração paralela às fibras tem o valor básico  $\gamma_{wt} = 1,8$ . O coeficiente de ponderação para ELU decorrente de tensões de cisalhamento paralelo às fibras tem o valor básico  $\gamma_{wv} = 1,8$ .

#### 2.2.9.4.3 Coeficiente de ponderação para ELS

O coeficiente de ponderação para ELS é igual a  $\gamma_w = 1,0$ .

#### 2.2.9.4.4 Estimativa das resistências características

Para as espécies já investigadas por laboratórios idôneos, que tenham apresentado os valores médios das resistências  $f_{wm}$  e dos módulos de elasticidade  $E_{c0,m}$ , correspondentes a diferentes teores de umidade  $U\% \leq 20\%$ , admite-se como valor de referência a resistência média  $f_{wm,12}$  correspondente a 12% de umidade. Admite-se, ainda, que esta resistência possa ser calculada pela expressão dada:

$$f_{12} = f_{u\%} \left[ 1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (14)$$

Neste caso, para o projeto, pode-se admitir a seguinte relação entre as resistências características e média:  $f_{wk,12} = 0,70f_{wm,12}$  correspondente a um coeficiente de variação da resistência de 18%.

#### 2.2.9.4.5 Estimativa da rigidez

Nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade paralelamente às fibras deve ser tomado como o valor efetivo:

$$E_{c0,ef} = k_{mod,1} \times k_{mod,2} \times k_{mod,3} \times E_{c0,m} \quad (15)$$

E o módulo de elasticidade transversal com o valor efetivo:

$$G_{ef} = \frac{E_{c0,ef}}{20} \quad (16)$$

## 2.2.10 Dimensionamento ELU

### 2.2.10.1 Critérios gerais

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), 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.

### 2.2.10.2 Carregamentos das construções correntes com duas cargas acidentais de naturezas diferentes

O dimensionamento das estruturas das construções em que haja apenas duas cargas acidentais, de naturezas diferentes, deve ser feito em função das situações duradouras de carregamento (especificados em 2.2.3. e 2.2.3.1). Nestas situações duradouras devem ser consideradas as seguintes ações usuais:

- Cargas permanentes (G), como os pesos próprios dos elementos estruturais e os pesos de todos os demais componentes não removíveis da construção, avaliadas de acordo com critérios estabelecidos (em 2.2.5.1);
- Cargas acidentais verticais de uso direto da construção (Q), determinadas conforme 2.2.5.2., são consideradas como cargas de longa duração;
- Vento (W), de acordo com o estabelecido em 2.2.5.3.

### 2.2.10.3 Combinações últimas nas construções correntes com duas cargas acidentais de naturezas diferentes

Na verificação da segurança em relação aos ELU das estruturas das construções correntes submetidas a cargas permanentes G e a ações variáveis pelas cargas verticais Q decorrentes do uso normal da construção e de seus eventuais efeitos dinâmicos, e pela ação do vento W, em lugar das combinações expressas em 2.2.7., podem ser consideradas as seguintes

duas combinações normais de ações, correspondentes a carregamentos de longa duração, com as modificações de 2.2.2.

- Primeira combinação: carga vertical e seus efeitos dinâmicos como ação variável principal

$$F_d = \sum \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_Q [Q_k + \Psi_{0w} W_k] \quad (17)$$

Onde os efeitos dinâmicos, de acordo com 2.2.2 (carregamento normal), sofrem as reduções especificadas para a verificação das peças de madeira, não se fazendo qualquer redução dos esforços decorrentes da ação do vento nessa verificação de segurança.

- Segunda combinação: vento como ação variável principal. Para as peças de madeira, não se fazendo qualquer redução dos esforços decorrentes dos efeitos dinâmicos das cargas móveis:

$$F_d = \sum \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_Q [0,75W_k + \Psi_{0Q} Q_k] \quad (18)$$

Os coeficientes de acompanhamento  $\Psi_{0w}$  e  $\Psi_{0Q}$  são dados em 2.2.4.3. Os coeficientes de ponderação  $\gamma_G$  e  $\gamma_Q$  são dados em 2.2.6.2.1, 2.2.6.2.2 e 2.2.6.2.3 para as ações permanentes e em 2.2.6.3 para as ações variáveis, nelas se considerando sempre as combinações normais de ações.

#### 2.2.10.4 Esforços resistentes em ELU

##### 2.2.10.4.1 Critérios gerais

Os esforços resistentes das peças estruturais de madeira em geral devem ser determinados com a hipótese de um comportamento elastofrágil do material, isto é, com um diagrama de 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.

#### 2.2.10.4.2 Valores de cálculo

$$f_{wd} = k_{mod} \frac{f_{wk}}{\gamma_w} \quad (19)$$

Os valores de cálculo da resistência são dados pela equação acima, onde o coeficiente de modificação  $k_{mod}$  é especificado em 2.2.9.4.1. em função da classe de carregamento e da classe de umidade da madeira, e os coeficientes de ponderação  $\gamma_w$  das resistências da madeira tem seus valores especificados em 2.2.9.4.2.

#### 2.2.10.5 Solicitações normais

##### 2.2.10.5.1 Flexão simples reta

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

- Distância entre eixos dos apoios;
- O 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 segurança fica garantida pela observância simultânea das seguintes condições:

$$\sigma_{c1,d} \leq f_{cd} \quad (20)$$

$$\sigma_{t2,d} \leq f_{td} \quad (21)$$

Onde  $f_{cd}$  e  $f_{td}$  são as tensões resistentes à compressão e à tração e  $\sigma_{c1,d}$  e  $\sigma_{t2,d}$ , são, respectivamente, as tensões atuantes de cálculo nas bordas mais comprimida e mais tracionada da seção transversal considerada, calculadas pelas expressões:

$$\sigma_{c1,d} = \frac{M_d}{W_c} \quad (22)$$

$$\sigma_{t2,d} = \frac{M_d}{W_t} \quad (23)$$

Onde  $W_c$  e  $W_t$  são os respectivos módulos de resistência que podem ser calculados pelas expressões usuais

$$W_c = \frac{I}{y_{c1}} \quad (24)$$

$$W_c = \frac{I}{y_{t2}} \quad (25)$$

Sendo  $I$  o momento de inércia da seção transversal resistente em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao plano de ação do momento fletor atuante.

#### 2.2.10.6 Solicitações tangenciais

##### 2.2.10.6.1 Cisalhamento longitudinal em vigas

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

$$\tau_d \leq f_{v0,d} \quad (26)$$

Onde  $\tau_d$  é a máxima tensão de cisalhamento atuando no ponto mais solicitado da peça. Em vigas de seção transversal retangular, de largura  $b$  e altura  $h$  tem-se:

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2 bh} \quad (27)$$

Na falta de determinação experimental específica, admitem-se:

- Coníferas:

$$f_{v0,d} = 0,12 \times f_{c0,d} \quad (28)$$

- Dicotiledôneas:

$$f_{v0,d} = 0,10 \times f_{c0,d} \quad (29)$$

#### 2.2.10.7 Estabilidade lateral

A estabilidade lateral de peças fletidas deve ser verificada por teoria cuja validade tenha sido comprovada experimentalmente. Nas vigas de seção retangular dispensa-se esta verificação quando:

- Os apoios de extremidade da viga impedirem a rotação de suas seções externas em torno do eixo longitudinal da peça;
- Existir um conjunto de elementos de travamento ao longo do comprimento L da viga, afastados de uma distância menor ou igual a  $L_1$ , que também impeçam a rotação dessas seções transversais em torno do eixo longitudinal da peça;
- Atender a condição:

$$\lambda_b = \frac{L_b}{b} \leq \lambda_0 = \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M \times f_{c0,d}} \quad (30)$$

Onde  $L_b$  é a distância entre os elementos de travamento;  $b$  é a largura da seção transversal da viga;  $\beta_M$  é um coeficiente de correção expresso por:

$$\beta_M = \frac{1}{0,26\pi} \times \frac{\beta_E}{\gamma_{wc}} \times \frac{\left(\frac{h}{b}\right)^{3/2}}{\left(\frac{h}{b} - 0,63\right)^{1/2}} \quad (31)$$

Onde  $h$  é a altura da seção transversal da viga;  $\beta_E$  é um coeficiente de correção ( $\beta_E = 4$ ) e  $\gamma_{wc}$  é um coeficiente de ponderação de resistência a compressão ( $\gamma_{wc} = 1,4$ ).

Nas peças em que:

$$\lambda_b = \frac{L_b}{b} > \lambda_0 = \frac{E_{c0,ef}}{\beta_M \times f_{c0,d}} \quad (32)$$

Devem ser satisfeitas as verificações de segurança para flexão simples reta com valor de  $\sigma_{c0,d}$ , atendendo a:

$$\sigma_{c0,d} \leq \frac{E_{c0,ef}}{\lambda_b \beta_M} \quad (33)$$

## 2.2.11 Dimensionamento ELS – Estados limites de serviço

### 2.2.11.1 Critérios gerais

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), item 9, tem-se os seguintes critérios gerais:

#### 2.2.11.1.1 Estados limites a considerar

Na verificação da segurança das estruturas de madeira são usualmente considerados os ELS caracterizados por:

- Deformações excessivas, 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.

#### 2.2.11.1.2 Critérios de verificação de segurança

A verificação da segurança em relação ao ELS deve ser feita por condições do tipo:

$$S_{d,uti} \leq S_{lim} \quad (34)$$

Onde:  $S_{lim}$  é o valor limite para o critério utilizado de verificação e  $S_{d,uti}$  são os valores desses mesmos efeitos, decorrentes da aplicação das ações estabelecidas para a verificação, calculados com a hipótese de comportamento elástico linear da estrutura. Para estas verificações, admite-se  $\gamma_f = 1,0$ , salvo exigência em contrário, expressa em norma especial. No cálculo de  $S_{d,uti}$  devem ser levados em conta os coeficientes de combinação  $\Psi_1$  e  $\Psi_2$  cujos valores são estabelecidos para os casos usuais em 2.2.4.3.

#### 2.2.11.1.3 Construções correntes

Nas construções correntes, as verificações da segurança em relação ao ELS são feitas admitindo-se apenas os carregamentos usuais, correspondentes às combinações de longa duração, expressas em 2.2.8.1. por:

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k} \quad (35)$$

Com os coeficientes  $\Psi_2$  dados em 2.2.4.3.

#### 2.2.11.2 Estados limites de deformações

A menos que haja restrições especiais impostas por normas particulares ou pelo proprietário da construção, a verificação da segurança, em relação aos estados limites de deformações, deve ser feita como indicado a seguir, para as combinações de utilização definidas em 2.2.11.1.3.

##### 2.2.11.2.1 Deslocamentos limites para construções correntes

Deve ser verificada a segurança em relação ao estado limites de deformações excessivas que possam afetar a utilização normal da construção ou seu aspecto estético,

considerando apenas as combinações de ações de longa duração, conforme 2.2.11.1.3, levando-se em conta a rigidez efetiva definida pelo módulo  $E_{c0,ef}$ .

A flecha efetiva  $u_{ef}$  determinada pela soma das parcelas devidas à carga permanente  $u_G$  e à carga acidental  $u_Q$ , não pode superar  $\frac{1}{200}$  dos vãos, nem  $\frac{1}{100}$  do comprimento dos balanços correspondentes.

## 2.2.12 Disposições construtivas

### 2.2.12.1 Área mínima

Segundo a ABNT NBR 7190 (1997), item 10.2.1, nas peças principais isoladas, como vigas e barras longitudinais de treliças, a área mínima das seções transversais será de  $50 \text{ cm}^2$  e a espessura mínima de 5 cm.

## 2.3 CRITÉRIOS DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES RETA

Esta seção irá revisar a literatura frente a dois critérios de pré-dimensionamento de estruturas de madeira submetidas à flexão simples reta. Os critérios de pré-dimensionamento auxiliam na escolha de uma dimensão inicial para as seções transversais de elementos estruturais na fase de anteprojeto estrutural antes de serem feitos os dimensionamentos segundo os critérios da ABNT NBR 7190 (1997). Existem alguns critérios de pré-dimensionamento de estruturas de madeira disponíveis na literatura (Dias 2013, Pfeil e Pfeil (2013), Rodrigues (2013), Pravia (2002)). Dentre os citados foram selecionados os critérios de Dias (2013) e o de Pfeil e Pfeil (2003) por serem critérios que apresentam tabelas.

### 2.3.1 Tabela apresentada por Dias (2013)

Na publicação no website da “Crosslam” está disponível um quadro de título “Tabela de pré-dimensionamento de estruturas de madeira” feito por Dias, que sugere valores de altura de peças de madeira em função do vão teórico para tesouras, pórticos treliçados, vigas laminadas coladas, vigas de madeira maciça, grelhas laminadas coladas e arcos laminados colados.

Figura 2 - Pré-dimensionamento de estruturas de madeira por Dias (2013)



## TABELA DE PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Descrição	Sistema Estrutural	Esquema	Vão livre [m]	Altura da viga	Distância entre vigas	Inclinação da cobertura
Tesouras	triangulares		7,5 a 30	$h \geq \frac{l}{10}$	4 a 10 m	12 a 30°
			7,5 a 20	$h_{\text{maior}} \geq \frac{l}{10}$	4 a 10 m	12 a 30°
	trapezoidais		7,5 a 30	$h \geq \frac{l}{12}$	4 a 10 m	3 a 8°
			7,5 a 30	$h_{\text{maior}} \geq \frac{l}{12}$	4 a 10 m	3 a 8°
	treliças		7,5 a 60	$h \geq \frac{l}{12} \rightarrow \frac{l}{15}$	4 a 10 m	-
			7,5 a 60	$h \geq \frac{l}{12} \rightarrow \frac{l}{15}$	4 a 10 m	-
Pórcos Treliçados	tri-articulados		15 a 30	$\frac{l}{12}$	4 a 6 m	máx 20°
			25 a 50	$\frac{l}{12}$	6 a 10 m	-
	bi-articulados		15 a 40	$\frac{l}{12}$	4 a 10 m	3 a 8°
			25 a 60	$\frac{l}{12}$	6 a 10 m	-
Vigas Laminadas Coladas	bi-apoiadas		10 a 35	$\frac{l}{17}$	5 a 7,5 m	-
	com corte inclinado simples		10 a 35	$\frac{l}{18} \rightarrow \frac{l}{25}$ H h	5 a 7,5 m	8 a 12°
	com corte inclinado duplo		10 a 35	$\frac{l}{16} \rightarrow \frac{l}{30}$ H h	5 a 7,5 m	3 a 8°
	bumerangues		10 a 35	$\frac{l}{16} \rightarrow \frac{l}{30}$ H h	5 a 7,5 m	máx 12°
	vagonadas		10 a 30	$\frac{l}{40} \rightarrow \frac{l}{12}$ H flecha	5 a 7 m	-
	em balanço		em balanço de 10 a 30	$\frac{l}{k} = \frac{l}{3} \rightarrow \frac{k}{45}$ H h	5 a 7 m	2 a 12°
Vigas Madeira Maciça	bi-apoiadas		1 a 8	$\frac{l}{17}$	0,5 a 5 m	-
Grelhas Laminadas Coladas	grelhas		máx 25	$\frac{l}{18} \rightarrow \frac{l}{25}$ do menor vão livre	-	-
Arcos Laminados Colados	arcos bi-articulados		20 a 100	$\frac{l}{50}$	5 a 10 m	-
	arcos tri-articulados		20 a 100	$\frac{l}{40}$	5 a 10 m	-

Autor: Eng. Alan Dias (CROSSLAM BRASIL)  
alan@crosslam.com.br

Fonte: Issuu (2013).

A partir dos valores apresentados na figura 02, foi selecionado o caso de vigas de madeira maciças biapoiadas, com vão livre entre 1 e 8 metros, distância entre vigas 0,5 a 5 metros, com a altura “h” pré-dimensionada pela relação em função do vão teórico “L”:

$$h = \frac{L}{17} \quad (36)$$

Figura 3 - Vigas madeira maciça por Dias (2013)

Vigas Madeira Maciça	bi-apoiadas		1 a 8	$\frac{l}{17}$	0,5 a 5 m	-
----------------------	-------------	---	-------	----------------	-----------	---

No critério sugerido por Dias não é mencionada a geometria da seção transversal, bem como qual o critério para a distância entre vigas, se é medida entre eixo de vigas ou se é medida entre faces, as propriedades mecânicas da madeira e a ordem de grandeza do carregamento. Dias (2013) também não menciona a contribuição de um possível travamento lateral ao longo das vigas para prevenir a perda de estabilidade lateral.

### 2.3.2 Tabelas apresentadas por Pfeil e Pfeil (2003)

Pfeil e Pfeil (2003) apresentam tabelas de pré-dimensionamento a partir do exercício 6.11.7, página 127, de seu livro “Estruturas de Madeiras”. As tabelas resultantes do exercício se encontram nas páginas 204 a 210 do livro e estão apresentadas nos anexos A ao G.

O autor considera uma viga biapoiada com madeira de segunda categoria, de seção transversal retangular, combinação normal de ações (permanente e variável), classe 2 de umidade, flecha máxima  $\frac{L}{200}$ , carga uniformemente distribuída e contraventamento lateral contínuo. A madeira pode ser classificada como dicotiledônea (C20, C30, C40 ou C60) ou conífera (C20, C25 ou C30).

Na resolução do exercício do livro foram fornecidos o coeficiente de modificação, as tensões de projeto e o módulo de elasticidade efetivo. Além disso, foram apresentadas fórmulas para a verificação das cargas máximas suportadas por vigas biapoiadas de seção transversal retangular no ELU, carga “ $p_d$ ”, e no ELS, carga “ $p$ ”.

A formulação apresentada por Pfeil e Pfeil (2003) para a limitação de tensões de cisalhamento na seção do apoio está na equação 37:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times p_d \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{b \times h} < f_{vd} \quad (37)$$

$$p_d < f_{vd} \times b \times h \times \frac{4 \times L}{3} \quad (38)$$

Segundo Pfeil e Pfeil (2003) a equação 39 representa a limitação de tensões de flexão na seção do meio do vão, considerando que  $f_{td} \geq f_{cd}$ :

$$\sigma_{td} = \sigma_{cd} = p_d \times \frac{L^2}{8} \times \frac{6}{b \times h^2} < f_{cd} \quad (39)$$

$$p_d < f_{cd} \times b \times h^2 \times \frac{8}{6 \times L^2} \quad (40)$$

Para limitação da flecha no meio do vão, tem-se a equação 41, segundo Pfeil e Pfeil (2003):

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{p \times L^4}{E_{c,ef} \times \frac{b \times h^3}{12}} < \frac{L}{200} \quad (41)$$

$$p < \frac{384 \times E_{c,ef} \times b \times h^3}{5 \times 12 \times 200 \times L^3} \quad (42)$$

### 3 METODOLOGIA

Para este trabalho foi feita uma análise de pré-dimensionamento respeitando os critérios da ABNT NBR 7190 (1997) para flexão simples reta com base nos critérios sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) e Dias (2013) para uma viga biapoiada de seção transversal retangular e com carga uniformemente distribuída.

#### 3.1 DIAS (2013)

Para a análise do critério apresentado por Dias (2013), foi necessário arbitrar algumas propriedades da madeira: a seção transversal adotada foi de geometria retangular e as cargas aplicadas foram selecionadas com base na ABNT NBR 6120 (2019).

Foram apresentadas três situações de projetos no item 2.2.3 e foi escolhida a situação duradoura de projeto por ser a mais frequente dentre as construções correntes. A situação de projeto considerada tem como uma viga biapoiada com carregamento de longa duração, por ser um carregamento mais frequente, feita em madeira serrada sem classificação estrutural e visual, logo, de segunda categoria, da espécie de *Eucalyptus Grandis*. A espécie é de floresta plantada e facilmente encontrada no mercado. O estudo de caso foi feito para a localização de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, onde a umidade relativa do ar compensada anual média, considerando o período de 1991 a 2020, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é 79,9%. As características da madeira de *Eucalyptus Grandis* foram retiradas do Anexo E da ABNT NBR 7190 (1997), e são apresentadas a seguir:

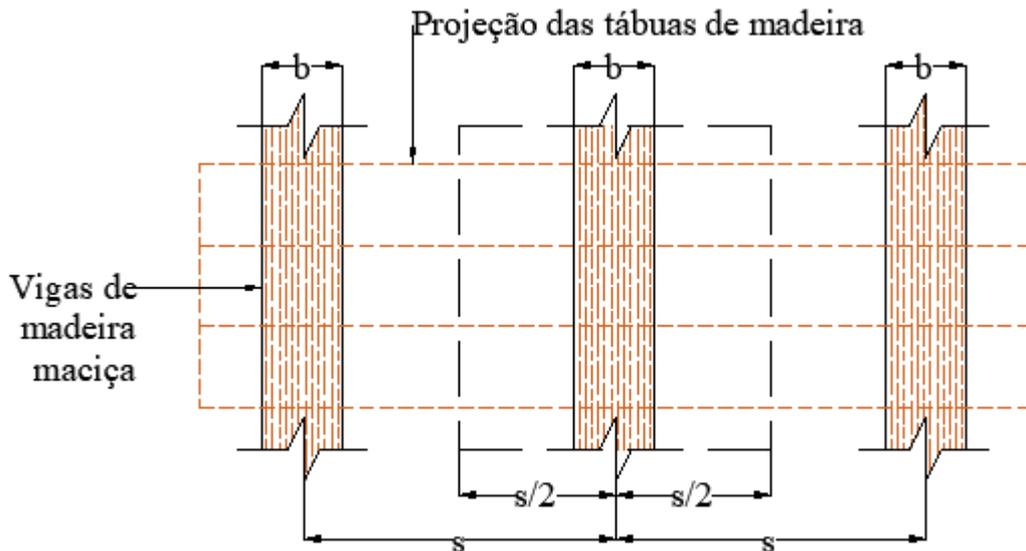
- $\rho_{\text{aparente}} = 640 \text{ kg/m}^3$ , onde  $\rho_{\text{aparente}}$  é a massa específica aparente a 12% de umidade;
- $f_{c0,m12} = 40,3 \text{ MPa}$ , onde  $f_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras;
- $f_{i0,m12} = 70,2 \text{ MPa}$ , onde  $f_{i0}$  é a resistência à tração paralela às fibras;
- $f_{v0,m12} = 7,0 \text{ MPa}$ , onde  $f_v$  é a resistência ao cisalhamento;
- $E_{c0,m12} = 12813 \text{ MPa}$ , onde  $E_{c0}$  é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras.

Para determinar os esforços resistentes em cada critério avaliado foi necessário utilizar coeficientes de ponderação do material e de modificação. Os valores dos coeficientes de ponderação,  $\gamma_{wc}$ ,  $\gamma_{wt}$  e  $\gamma_{wv}$  estão de acordo com o citado em 2.2.9.4.2. Para o coeficiente de modificação  $k_{\text{mod},1}$  foi utilizado o valor 0,7 por ser um carregamento de longa duração e

madeira serrada, para o  $k_{mod,2}$  foi utilizado 0,8 por ser classe 3 de umidade e para o  $k_{mod,3}$  foi utilizado 0,8 madeira serrada de segunda categoria.

Inicialmente, para o estudo de caso de uma viga de seção retangular, foram estabelecidos dois diferentes tamanhos de bases para a avaliação, 5,0 cm e 7,5 cm, previstos na ABNT NBR 7203 (1982) para madeira serrada. As alturas das vigas variaram de acordo com o critério estabelecido em 2.3.1. Para a análise, também foram variados os comprimentos dos vãos livres de 1 m a 8 m, bem como o espaçamento entre eixos de vigas variou de 0,5 m a 5,0 m conforme estabelecido em 2.3.1. Para o espaçamento entre eixos de vigas foram utilizados os valores 0,5 m, 1,5 m, 3 m e 5 m.

Figura 4 – Vista superior de vigas com indicação de espaçamento entre vigas “s”



Fonte: Autora (2022).

As cargas acidentais utilizadas para as análises foram retiradas da ABNT NBR 6120 (2019) e são elas,  $q_{dormitório} = 1,5 \text{ kN/m}^2$  e  $q_{corredor\_comum} = 3,0 \text{ kN/m}^2$ . A carga de “dormitório” foi selecionada por ser a mais baixa, entre as apresentadas pela norma, para edifícios residenciais. A carga de “corredor de uso comum”, que possui o mesmo valor que a carga de “depósito”, foi selecionada por ser entre as opções disponíveis para edificações residenciais na ABNT NBR 6120 (2019) a de valor maior, sendo somente superada pela carga de “quadra esportivas” ( $5 \text{ kN/m}^2$ ). A carga de “quadra esportivas” não foi adotada, pois entende-se que a sugestão de Dias seja para estruturas mais corriqueiras e não para situações de projetos mais complexas.

Como ações permanentes existem o peso próprio da viga, e prevendo uma situação de piso residencial, foram estimadas duas situações limites. A primeira situação com a existência de pisos de tábua de madeira, de 2,0 cm de espessura, sobre a viga e a segunda situação com as tábuas de madeira e a colocação de piso cerâmico, de 5,0 cm de espessura, por cima. As tábuas foram adotadas como sendo da mesma espécie de madeira das vigas e o valor do peso próprio da cerâmica foi retirado da ABNT NBR 6120 (2019) e vale  $\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$ .

Para as combinações de cargas atuantes na estrutura foi considerado “p<sub>d</sub>” para avaliações de critérios de ELU e “p” para avaliações de critérios de ELS. Para chegar nas combinações de cargas foram utilizadas as equações 2 e 5 para ELU e ELS, respectivamente. Esses valores de cargas foram utilizados para verificação dos critérios de pré-dimensionamento de flexão simples reta.

Para o coeficiente  $\gamma_g$  foi considerado o valor 1,4, pois é madeira serrada, de grande variabilidade, sem classificação estrutural, efeito desfavorável, pois o peso próprio e a carga accidental estão na mesma direção e sentido, e combinação normal. Para o coeficiente  $\gamma_q$  foi utilizado o valor 1,4, pois são ações variáveis em geral e combinação normal. Para o coeficiente  $\Psi_2$ , foi utilizado o valor de 0,2, pois foi considerado como local em que não há predominância de pesos e nem elevadas concentrações de pessoas.

Considerando a favor da segurança, foi analisado o critério de Dias (2013), sem a possível contribuição de um piso de tábuas existente, para um travamento lateral na análise de ELU de estabilidade lateral.

As combinações de cargas serviram para verificação da flexão simples reta para vigas biapoiadas, que se dá através dos critérios a seguir:

1. Limitações de tensões de flexão na seção no meio do vão (tração);
2. Limitações de tensões de flexão na seção no meio do vão (compressão);
3. Limitações de tensões de cisalhamento na seção de apoio;
4. Estabilidade lateral;
5. Limitação da flecha no meio do vão.

A partir das variações de base, altura, vão e espaçamento entre vigas foi verificado para quais valores, ao adotar o critério de Dias (2013), atende-se a ABNT NBR 7190 (1997).

### 3.2 PFEIL E PFEIL (2003)

Para análise do critério apresentado por Pfeil e Pfeil (2003), foram apresentados no item 2.3.2: as propriedades da madeira, seções transversais retangulares, combinações de cargas e esforços resistentes.

Foram utilizadas vigas bases de 5 cm e 7,5 cm. Para as vigas de bases de 5 cm têm-se as alturas de 15 e 20 cm. Já para as vigas de bases de 7,5 cm têm-se as alturas de 7,5 cm, 11,5 cm, 15 cm, 23 cm e 30,5 cm.

Foi considerada uma viga biapoiada com madeira de segunda categoria, combinação normal de ações (permanente e variável), classe 2 de umidade, flecha máxima  $\frac{L}{200}$ , carga uniformemente distribuída e contraventamento lateral contínuo. A madeira pode ser classificada como dicotiledônea (C20, C30, C40 ou C60) ou conífera (C20, C25 ou C30).

A partir do desenvolvimento das fórmulas obtidas através da ABNT NBR 7190 (1997) foi permitido verificar as cargas máximas suportadas por vigas biapoiadas de seção transversal retangular no ELU, carga “p<sub>d</sub>”, e no ELS, carga “p”.

Para limitação de tensões de cisalhamento na seção do apoio, tem-se a equação 43:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times p_d \times \frac{L}{2} \times \frac{1}{b \times h} \leq f_{vd} \quad (43)$$

$$p_d \leq f_{vd} \times b \times h \times \frac{4 \times L}{3} \quad (44)$$

Tem-se a equação 45 para limitação de tensões de flexão na seção do meio do vão, considerando que  $f_{td} \geq f_{cd}$ :

$$\sigma_{td} = \sigma_{cd} = p_d \times \frac{L^2}{8} \times \frac{6}{b \times h^2} \leq f_{cd} \quad (45)$$

$$p_d \leq f_{cd} \times b \times h^2 \times \frac{8}{6 \times L^2} \quad (46)$$

Adotou-se o mínimo dos valores resultantes da carga p<sub>d</sub>.

Para limitação da flecha no meio do vão, tem-se a equação 47:

$$\delta = \frac{5}{384} \times \frac{p \times L^4}{E_{c,ef} \times \frac{b \times h^3}{12}} \leq \frac{L}{200} \quad (47)$$

$$p \leq \frac{384 \times E_{c,ef} \times b \times h^3}{5 \times 12 \times 200 \times L^3} \quad (48)$$

Para as combinações de cargas atuantes na estrutura foi considerado “p<sub>d</sub>” para avaliações de critérios de ELU e “p” para avaliações de critérios de ELS. Esses valores de cargas foram utilizados para validação dos critérios de pré-dimensionamento de flexão simples reta. São eles:

1. Limitações de tensões de flexão na seção no meio do vão (tração);
2. Limitações de tensões de flexão na seção no meio do vão (compressão);
3. Limitações de tensões de cisalhamento na seção de apoio;
4. Limitação da flecha no meio do vão.

Caso os resultados das análises realizadas coincidirem com os valores propostos nas tabelas de Pfeil e Pfeil (2003), o critério apresentado pelos autores será considerado válido. Se não houver coincidência, será investigado em quais casos isso não ocorre e serão apresentados.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 DIAS (2013)

Inicialmente, para a análise do critério sugerido por Dias (2013) foram calculadas as cargas permanentes considerando o peso próprio da viga, o peso próprio das tábuas e o peso próprio do piso cerâmico. Em seguida, foram calculados “ $p_d$ ” e “ $p$ ” considerando as cargas permanentes e acidentais.

O cálculo do peso próprio da viga foi feito com base na densidade  $\rho_{aparente}$  multiplicada pela área da seção transversal de base “ $b$ ” e altura “ $h$ ”.

$$g_{viga} = \rho_{aparente} \times b \times h \quad (49)$$

Por exemplo, se a base é 7,5 cm, a altura é 11,76 cm e  $\rho_{aparente}$  é 640 kg/m<sup>3</sup> o  $g_{viga}$  será 0,055 kN/m.

O cálculo do peso próprio das tábuas depende do espaçamento entre vigas “ $s$ ” e da espessura da tábua “ $e_{tábua}$ ”. A área de piso que contribui para uma viga é dada pelo valor de “ $s$ ” multiplicado pelo comprimento da viga. A figura 4 ilustra o espaçamento entre eixos de vigas “ $s$ ”.

$$g_{tábua} = \rho_{aparente} \times e_{tábua} \times s \quad (50)$$

Por exemplo, se a espessura é 2,0 cm, o espaçamento entre vigas é 0,5 m e  $\rho_{aparente}$  é 640 kg/m<sup>3</sup>, o  $g_{tábua}$  será 0,062 kN/m.

O cálculo do peso próprio do piso cerâmico depende peso específico aparente médio, da espessura da cerâmica “ $e_{cerâmica}$ ” e do espaçamento entre vigas.

$$g_{cerâmica} = \gamma_{ap-m} \times e_{cerâmica} \times s \quad (51)$$

Por exemplo, se a espessura é 5,0 cm, o espaçamento entre vigas é 0,5 m e  $\gamma_{ap-m}$  é 20 kN/m<sup>3</sup> o  $g_{cerâmica}$  será 0,5 kN/m.

O cálculo de  $p_d$  foi dado pelo somatório das cargas permanentes multiplicadas pelo coeficiente  $\gamma_g$  com as cargas variáveis multiplicadas pelo coeficiente  $\gamma_q$ . Para a primeira situação sem piso cerâmico e com carga de dormitório:

$$p_d = \gamma_g \times (g_{viga} + g_{tábua}) + \gamma_g \times q_{dormitório} \quad (52)$$

Por exemplo, se  $\gamma_g$  é 1,4,  $g_{viga}$  é 0,055 kN/m,  $g_{tábua}$  é 0,062 kN/m,  $\gamma_q$  é 1,4 e  $q_{dormitório}$  é 0,75 kN/m tem-se  $p_d$  igual a 1,215 kN/m.

Para a segunda situação com piso cerâmico e com carga de corredor de uso comum:

$$p_d = \gamma_g \times (g_{viga} + g_{tábua} + g_{cerâmica}) + \gamma_g \times q_{corredor\_comum} \quad (53)$$

Por exemplo, se  $\gamma_g$  é 1,4,  $g_{viga}$  é 0,055 kN/m,  $g_{tábua}$  é 0,062 kN/m,  $g_{cerâmica}$  é 0,5 kN/m,  $\gamma_q$  é 1,4 e  $q_{corredor\_comum}$  é 1,5 kN/m tem-se  $p_d$  igual a 2,965 kN/m.

O cálculo de  $p$  é feito pelo somatório das cargas permanentes e as cargas acidentais, as últimas multiplicadas pelo coeficiente  $\Psi_2$ . Para a primeira situação sem carga de piso cerâmico e carga acidental de dormitório:

$$p = (g_{viga} + g_{tábua}) + \Psi_2 \times q_{dormitório} \quad (54)$$

Por exemplo, se  $g_{viga}$  é 0,055 kN/m,  $g_{tábua}$  é 0,062 kN/m,  $\Psi_2$  é 0,2 e  $q_{dormitório}$  é 0,75 kN/m, tem-se  $p$  igual a 0,268 kN/m.

Para a segunda situação com carga de piso cerâmico e carga acidental de corredor de uso comum:

$$p = (g_{viga} + g_{tábua} + g_{cerâmica}) + \Psi_2 \times q_{corredor\_comum} \quad (55)$$

Por exemplo, se se  $g_{viga}$  é 0,055 kN/m,  $g_{tábua}$  é 0,062 kN/m,  $g_{cerâmica}$  é 0,5 kN/m,  $\Psi_2$  é 0,2 e  $q_{corredor\_comum}$  é 1,5 kN/m, tem-se  $p$  igual a 0,918 kN/m.

Tabela 12 – Parâmetros utilizados para teste de aplicabilidade do critério estabelecido por Dias (2013) para situação sem piso cerâmico e com carga de dormitório

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$g_{viga}$ (kN/m)	$g_{tábua}$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
5	5,882	100	0,5	0,018	0,063	1,164	0,231
5	10,000	170	0,5	0,031	0,063	1,182	0,244

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	g <sub>viga</sub> (kN/m)	g <sub>tábuá</sub> (kN/m)	p <sub>d</sub> (kN/m)	p (kN/m)
5	11,765	200	0,5	0,037	0,063	1,190	0,250
5	20,412	347	0,5	0,064	0,063	1,228	0,277
5	23,529	400	0,5	0,074	0,063	1,241	0,287
5	35,294	600	0,5	0,111	0,063	1,293	0,324
5	47,059	800	0,5	0,148	0,063	1,345	0,361
5	5,882	100	1	0,018	0,126	2,302	0,444
5	10,000	170	1	0,031	0,126	2,320	0,457
5	11,765	200	1	0,037	0,126	2,327	0,462
5	14,471	246	1	0,045	0,126	2,339	0,471
5	23,529	400	1	0,074	0,126	2,379	0,499
5	35,294	600	1	0,111	0,126	2,431	0,536
5	47,059	800	1	0,148	0,126	2,483	0,573
5	5,882	100	1,2	0,018	0,151	2,757	0,529
5	10,000	170	1,2	0,031	0,151	2,775	0,542
5	11,765	200	1,2	0,037	0,151	2,783	0,548
5	13,176	224	1,2	0,041	0,151	2,789	0,552
5	23,529	400	1,2	0,074	0,151	2,834	0,585
5	35,294	600	1,2	0,111	0,151	2,886	0,621
5	47,059	800	1,2	0,148	0,151	2,938	0,658
5	5,882	100	1,5	0,018	0,188	3,440	0,657
5	11,765	200	1,5	0,037	0,188	3,465	0,675
5	23,529	400	1,5	0,074	0,188	3,517	0,712
5	35,294	600	1,5	0,111	0,188	3,569	0,749
5	47,059	800	1,5	0,148	0,188	3,621	0,786
5	5,882	100	2	0,018	0,251	4,577	0,870
5	11,765	200	2	0,037	0,251	4,603	0,888
5	23,529	400	2	0,074	0,251	4,655	0,925
5	35,294	600	2	0,111	0,251	4,707	0,962
5	47,059	800	2	0,148	0,251	4,758	0,999
5	5,882	100	3	0,018	0,377	6,853	1,295
5	11,765	200	3	0,037	0,377	6,879	1,314
5	23,529	400	3	0,074	0,377	6,931	1,351
5	35,294	600	3	0,111	0,377	6,982	1,387
5	47,059	800	3	0,148	0,377	7,034	1,424

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	g <sub>viga</sub> (kN/m)	g <sub>tábuá</sub> (kN/m)	p <sub>d</sub> (kN/m)	p (kN/m)
5	5,882	100	5	0,018	0,628	11,405	2,146
5	11,765	200	5	0,037	0,628	11,431	2,165
5	23,529	400	5	0,074	0,628	11,482	2,202
5	35,294	600	5	0,111	0,628	11,534	2,239
5	47,059	800	5	0,148	0,628	11,586	2,276
7,5	5,882	100	0,5	0,028	0,063	1,177	0,240
7,5	6,667	113,333	0,5	0,031	0,063	1,182	0,244
7,5	11,765	200	0,5	0,055	0,063	1,215	0,268
7,5	23,529	400	0,5	0,111	0,063	1,293	0,324
7,5	35,294	600	0,5	0,166	0,063	1,371	0,379
7,5	35,647	606	0,5	0,168	0,063	1,373	0,381
7,5	47,059	800	0,5	0,222	0,063	1,448	0,434
7,5	5,882	100	1,5	0,028	0,188	3,452	0,666
7,5	6,667	113,333	1,5	0,031	0,188	3,458	0,670
7,5	11,765	200	1,5	0,055	0,188	3,491	0,694
7,5	21,588	367	1,5	0,102	0,188	3,556	0,740
7,5	23,529	400	1,5	0,111	0,188	3,569	0,749
7,5	35,294	600	1,5	0,166	0,188	3,646	0,805
7,5	47,059	800	1,5	0,222	0,188	3,724	0,860
7,5	5,882	100	1,9	0,028	0,239	4,363	0,836
7,5	6,667	113,333	1,9	0,031	0,239	4,368	0,840
7,5	11,765	200	1,9	0,055	0,239	4,402	0,864
7,5	19,118	325	1,9	0,090	0,239	4,450	0,899
7,5	23,529	400	1,9	0,111	0,239	4,479	0,919
7,5	35,294	600	1,9	0,166	0,239	4,557	0,975
7,5	47,059	800	1,9	0,222	0,239	4,634	1,030
7,5	5,882	100	2	0,028	0,251	4,590	0,879
7,5	11,765	200	2	0,055	0,251	4,629	0,907
7,5	23,529	400	2	0,111	0,251	4,707	0,962
7,5	35,294	600	2	0,166	0,251	4,784	1,017
7,5	47,059	800	2	0,222	0,251	4,862	1,073
7,5	5,882	100	3	0,028	0,377	6,866	1,304
7,5	11,765	200	3	0,055	0,377	6,905	1,332
7,5	23,529	400	3	0,111	0,377	6,982	1,387

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	g <sub>viga</sub> (kN/m)	g <sub>tábu</sub> (kN/m)	p <sub>d</sub> (kN/m)	p (kN/m)
7,5	35,294	600	3	0,166	0,377	7,060	1,443
7,5	47,059	800	3	0,222	0,377	7,138	1,498
7,5	5,882	100	5	0,028	0,628	11,418	2,156
7,5	11,765	200	5	0,055	0,628	11,457	2,183
7,5	23,529	400	5	0,111	0,628	11,534	2,239
7,5	35,294	600	5	0,166	0,628	11,612	2,294
7,5	47,059	800	5	0,222	0,628	11,689	2,349

Fonte: Autora (2022).

Tabela 13 - Parâmetros utilizados para teste de aplicabilidade do critério estabelecido por Dias (2013) para situação com piso cerâmico e carga de corredor de uso comum

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	g <sub>viga</sub> (kN/m)	g <sub>tábu</sub> (kN/m)	g <sub>cerâmica</sub> (kN/m)	p <sub>d</sub> (kN/m)	p (kN/m)
5	5,882	100	0,5	0,018	0,063	0,5	2,914	0,881
5	10,000	170	0,5	0,031	0,063	0,5	2,932	0,894
5	11,765	200	0,5	0,037	0,063	0,5	2,940	0,900
5	12,765	217	0,5	0,040	0,063	0,5	2,944	0,903
5	23,529	400	0,5	0,074	0,063	0,5	2,991	0,937
5	35,294	600	0,5	0,111	0,063	0,5	3,043	0,974
5	47,059	800	0,5	0,148	0,063	0,5	3,095	1,011
5	5,882	100	0,5	0,018	0,063	0,5	2,914	0,881
5	10,000	170	0,5	0,031	0,063	0,5	2,932	0,894
5	11,765	200	0,5	0,037	0,063	0,5	2,940	0,900
5	12,765	217	0,5	0,040	0,063	0,5	2,944	0,903
5	23,529	400	0,5	0,074	0,063	0,5	2,991	0,937
5	35,294	600	0,5	0,111	0,063	0,5	3,043	0,974
5	47,059	800	0,5	0,148	0,063	0,5	3,095	1,011
5	5,882	100	1,5	0,018	0,188	1,5	8,690	2,607
5	11,765	200	1,5	0,037	0,188	1,5	8,715	2,625
5	23,529	400	1,5	0,074	0,188	1,5	8,767	2,662
5	35,294	600	1,5	0,111	0,188	1,5	8,819	2,699
5	47,059	800	1,5	0,148	0,188	1,5	8,871	2,736
5	5,882	100	1,5	0,018	0,188	1,5	8,690	2,607
5	11,765	200	1,5	0,037	0,188	1,5	8,715	2,625
5	23,529	400	1,5	0,074	0,188	1,5	8,767	2,662

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	g <sub>viga</sub> (kN/m)	g <sub>tábu</sub> (kN/m)	g <sub>cerâmica</sub> (kN/m)	p <sub>d</sub> (kN/m)	p (kN/m)
5	35,294	600	1,5	0,111	0,188	1,5	8,819	2,699
5	47,059	800	1,5	0,148	0,188	1,5	8,871	2,736
5	5,882	100	3	0,018	0,377	3	17,353	5,195
5	11,765	200	3	0,037	0,377	3	17,379	5,214
5	23,529	400	3	0,074	0,377	3	17,431	5,251
5	35,294	600	3	0,111	0,377	3	17,482	5,287
5	47,059	800	3	0,148	0,377	3	17,534	5,324
5	5,882	100	5	0,018	0,628	5	28,905	8,646
5	11,765	200	5	0,037	0,628	5	28,931	8,665
5	23,529	400	5	0,074	0,628	5	28,982	8,702
5	35,294	600	5	0,111	0,628	5	29,034	8,739
5	47,059	800	5	0,148	0,628	5	29,086	8,776
7,5	5,882	100	0,5	0,028	0,063	0,5	2,927	0,890
7,5	6,667	113,333	0,5	0,031	0,063	0,5	2,932	0,894
7,5	11,765	200	0,5	0,055	0,063	0,5	2,965	0,918
7,5	23,471	399	0,5	0,111	0,063	0,5	3,043	0,973
7,5	23,529	400	0,5	0,111	0,063	0,5	3,043	0,974
7,5	35,294	600	0,5	0,166	0,063	0,5	3,121	1,029
7,5	47,059	800	0,5	0,222	0,063	0,5	3,198	1,084
7,5	5,882	100	0,7	0,028	0,088	0,7	4,082	1,236
7,5	6,667	113,333	0,7	0,031	0,088	0,7	4,087	1,239
7,5	11,765	200	0,7	0,055	0,088	0,7	4,121	1,263
7,5	19,765	336	0,7	0,093	0,088	0,7	4,173	1,301
7,5	23,529	400	0,7	0,111	0,088	0,7	4,198	1,319
7,5	35,294	600	0,7	0,166	0,088	0,7	4,276	1,374
7,5	47,059	800	0,7	0,222	0,088	0,7	4,353	1,429
7,5	5,882	100	1,5	0,028	0,188	1,5	8,702	2,616
7,5	11,765	200	1,5	0,055	0,188	1,5	8,741	2,644
7,5	23,529	400	1,5	0,111	0,188	1,5	8,819	2,699
7,5	35,294	600	1,5	0,166	0,188	1,5	8,896	2,755
7,5	47,059	800	1,5	0,222	0,188	1,5	8,974	2,810
7,5	5,882	100	2	0,028	0,251	2	11,590	3,479
7,5	11,765	200	2	0,055	0,251	2	11,629	3,507
7,5	23,529	400	2	0,111	0,251	2	11,707	3,562

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	g <sub>viga</sub> (kN/m)	g <sub>tábua</sub> (kN/m)	g <sub>cerâmica</sub> (kN/m)	p <sub>d</sub> (kN/m)	p (kN/m)
7,5	35,294	600	2	0,166	0,251	2	11,784	3,617
7,5	47,059	800	2	0,222	0,251	2	11,862	3,673
7,5	5,882	100	3	0,028	0,377	3	17,366	5,204
7,5	11,765	200	3	0,055	0,377	3	17,405	5,232
7,5	23,529	400	3	0,111	0,377	3	17,482	5,287
7,5	35,294	600	3	0,166	0,377	3	17,560	5,343
7,5	47,059	800	3	0,222	0,377	3	17,638	5,398
7,5	5,882	100	5	0,028	0,628	5	28,918	8,656
7,5	11,765	200	5	0,055	0,628	5	28,957	8,683
7,5	23,529	400	5	0,111	0,628	5	29,034	8,739
7,5	35,294	600	5	0,166	0,628	5	29,112	8,794
7,5	47,059	800	5	0,222	0,628	5	29,189	8,849

Fonte: Autora (2022).

No critério de Dias (2013), a análise do ELU de estabilidade lateral não considerou a possível contribuição de um piso de tábuas para o travamento lateral das vigas nas bordas comprimidas.

Com base na equação 12 e nos valores apresentados no capítulo 2, seção 2.2, o valor de  $k_{mod}$  resultou em 0,448. E a partir do apresentado na equação 19 e no capítulo 2, seção 2.2 obteve-se os valores de  $f_{cd}$ ,  $f_{td}$ ,  $f_{vd}$ ,  $E_{c,ef}$ . Os valores são os mesmos tanto para a primeira situação (sem piso cerâmico e com carga de dormitório) quanto para a segunda situação (com piso cerâmico e com carga de corredor de uso comum).

Tabela 14 - Coeficiente de modificação ( $k_{mod}$ )

$k_{mod,1}$	$k_{mod,2}$	$k_{mod,3}$	$k_{mod}$
0,7	0,8	0,8	0,448

Fonte: Autora (2022).

Tabela 15 - Valores de resistência da madeira da viga biapoiada em estudo

Resistência à compressão paralela às fibras			Resistência à tração paralela das fibras			Resistência ao cisalhamento			Módulo de elasticidade longitudinal	
$\gamma_{wc}$	$f_{c0}$ (MPa)	$f_{cd}$ (MPa)	$\gamma_{wt}$	$f_{t0}$ (MPa)	$f_{td}$ (MPa)	$\gamma_{wv}$	$f_{v0}$ (MPa)	$f_{vd}$ (MPa)	$E_{c0}$ (MPa)	$E_{c,ef}$ (MPa)
1,4	40,3	12,896	1,8	70,2	17,472	1,8	7	1,742	12813	5740,224

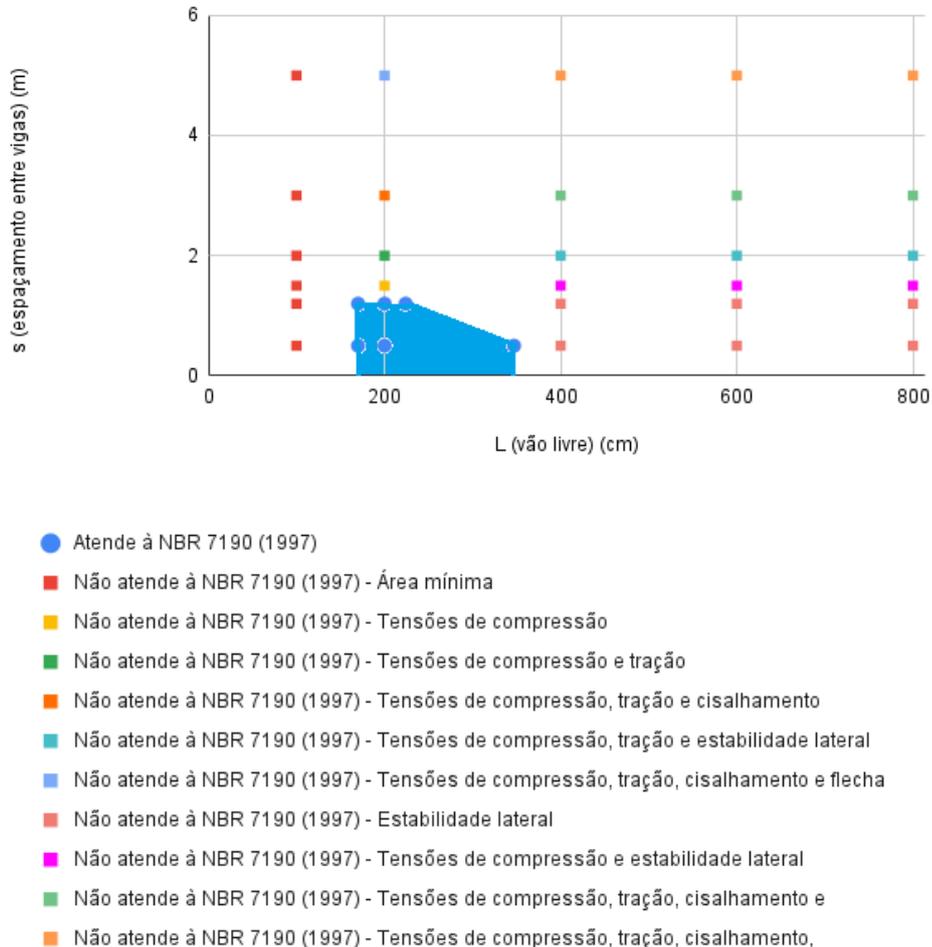
Fonte: Autora (2022).

A partir dos parâmetros apresentados nas tabelas 12 e 13 foram realizadas verificações de atendimento à ABNT NBR 7190 (1997) para o ELU e ELS para flexão simples reta da madeira. Os resultados comparando os valores solicitantes com os valores resistentes da norma estão demonstrados nos apêndices A e B. Os apêndices foram divididos pela numeração dos critérios aos quais a viga foi submetida. Assim, os resultados obtidos estão presentes nos gráficos “L (vão livre) (cm) x s (espaçamento entre vigas) (m)”.

Seguindo o critério de Dias (2013), atendeu-se a ABNT NBR 7190 (1997) apenas a envoltória sólida azul demonstrada nas figuras dos gráficos abaixo.

A figura 5 apresenta o gráfico para a situação da viga e tábua com base de 5,0 cm, sem piso cerâmico e com carga acidental de dormitório. Para um L abaixo de 170 cm o critério de Dias não satisfaz, pois não atende à área mínima da seção transversal (critério 2.2.12), independente do espaçamento entre vigas. O  $L_{\min}$  para satisfazer o critério de Dias (2013) com um espaçamento entre vigas de 0,5 m é 170 cm e o  $L_{\max}$  é 347 cm. Para o espaçamento máximo entre vigas de 1,2 m o  $L_{\min}$  é também 170 cm e o  $L_{\max}$  é 224 cm. Para espaçamentos entre vigas acima de 1,2 m e do  $L_{\max}$  de 224 cm o critério não satisfaz, conforme é demonstrado na figura.

Figura 5 - Gráfico de situação de viga e tábua sem piso cerâmico, com carga acidental de dormitório e base  $b = 5,0$  cm

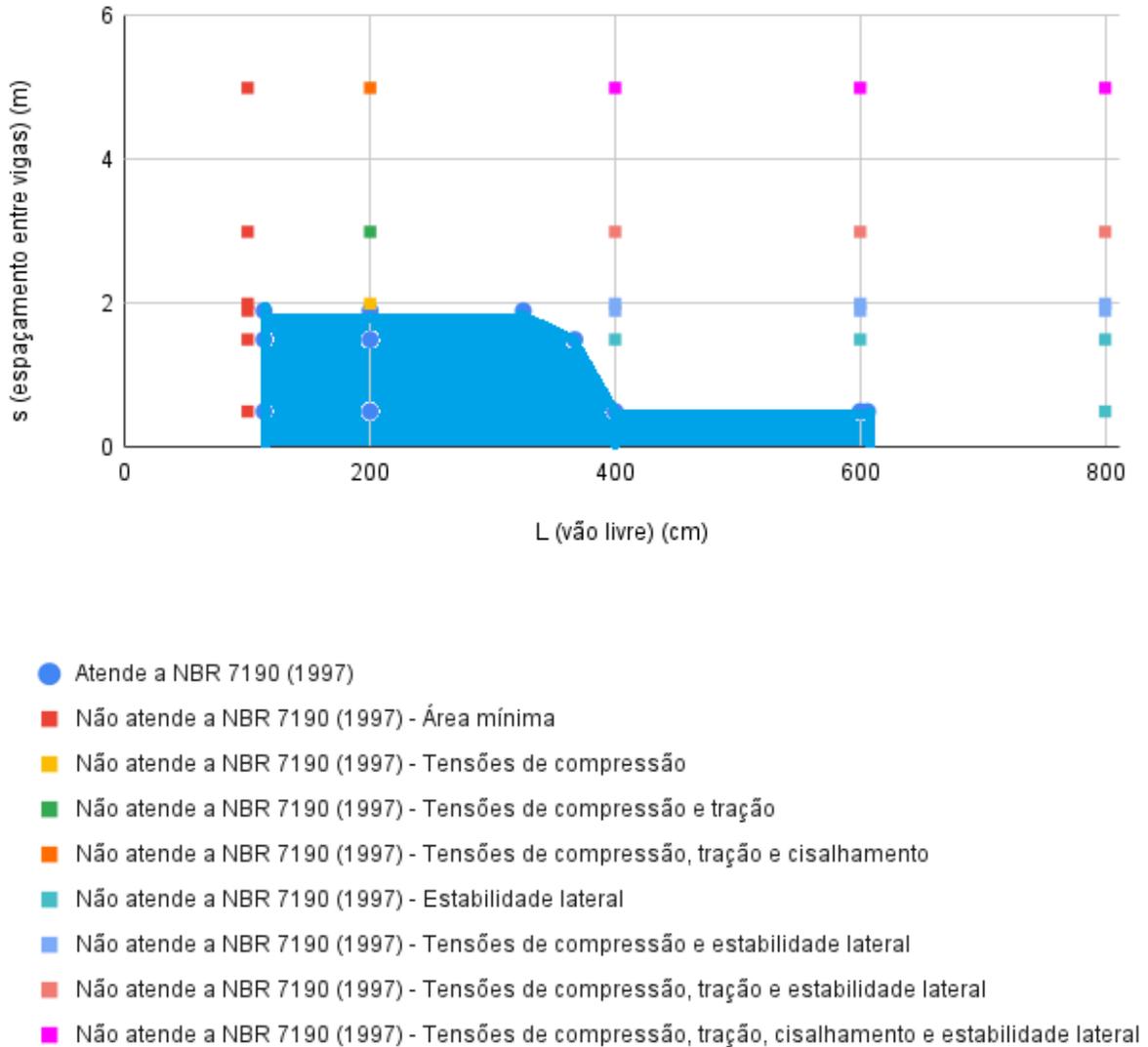


<sup>1)</sup> Estes valores foram obtidos com a espécie *Eucalyptus Grandis*.

Fonte: Autora (2022).

A figura 6 apresenta o gráfico para a situação da viga e tábua com base de 7,5 cm, sem piso cerâmico e com carga acidental de dormitório. Para um  $L$  abaixo de 113,33 cm o critério de Dias não satisfaz, pois não atende à área mínima da seção transversal (critério 2.2.12), independente do espaçamento entre vigas. O  $L_{\min}$  para satisfazer o critério de Dias (2013) com um espaçamento entre vigas de 0,5 m é 113,33 cm e o  $L_{\max}$  é 606 cm. Para o espaçamento máximo entre vigas de 1,9 m o  $L_{\min}$  é também 113,33 cm e o  $L_{\max}$  é 325 cm. Para espaçamentos entre vigas acima de 1,9 m e do  $L_{\max}$  de 325 cm o critério não satisfaz, conforme é demonstrado na figura.

Figura 6 - Gráfico de situação de viga e tábua sem piso cerâmico, com carga acidental de dormitório e base  $b = 7,5$  cm

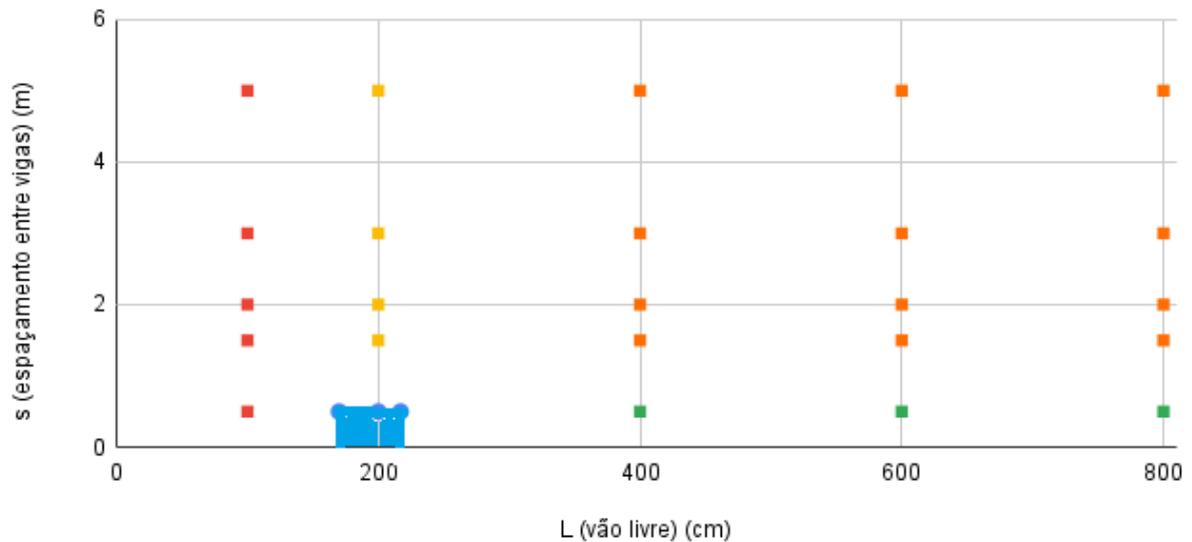


<sup>1)</sup> Estes valores foram obtidos com a espécie *Eucalyptus Grandis*.

Fonte: Autora (2022).

A figura 7 apresenta o gráfico para a situação da viga e tábua com base de 5,0 cm, com piso cerâmico e com carga acidental de corredor de uso comum. Para um  $L$  abaixo de 170 cm o critério de Dias não satisfaz, pois não atende à área mínima da seção transversal (critério 2.2.12), independente do espaçamento entre vigas. O  $L_{\text{mín}}$  para satisfazer o critério de Dias (2013) com um espaçamento máximo entre vigas de 0,5 m é 170 cm e o  $L_{\text{máx}}$  é 217 cm. Para espaçamentos entre vigas acima de 0,5 m e do  $L_{\text{máx}}$  de 217 cm o critério não satisfaz, conforme é demonstrado na figura.

Figura 7 - Gráfico de situação de viga e tábua com piso cerâmico, com carga acidental de corredor de uso comum e base  $b = 5,0$  cm



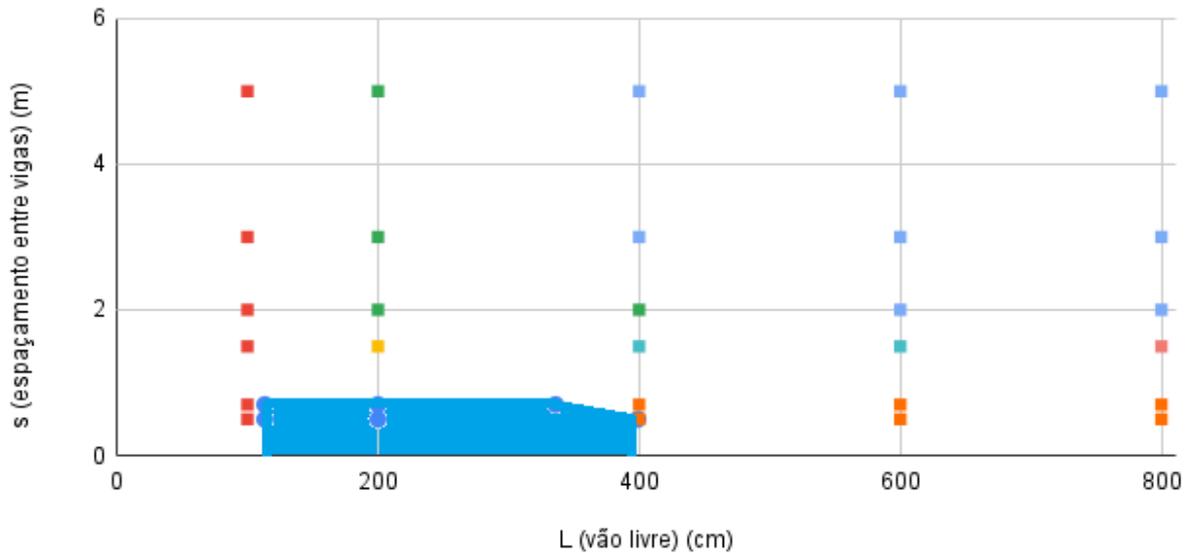
- Atende a NBR 7190 (1997)
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Área mínima
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão, tração, cisalhamento e flecha
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão e estabilidade lateral
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão, tração, cisalhamento, estabilidade lateral e flecha

1) Estes valores foram obtidos com a espécie *Eucalyptus Grandis*.

Fonte: Autora (2022).

A figura 8 apresenta o gráfico para a situação da viga e tábua com base de 7,5 cm, com piso cerâmico e com carga acidental de corredor de uso comum. Para um  $L$  abaixo de 113,33 cm o critério de Dias não satisfaz, pois não atende à área mínima da seção transversal (critério 2.2.12), independente do espaçamento entre vigas. O  $L_{\text{mín}}$  para satisfazer o critério de Dias (2013) com um espaçamento máximo entre vigas de 0,5 m é 113,33 cm e o  $L_{\text{máx}}$  é 399 cm. Para o espaçamento máximo entre vigas de 0,7 m o  $L_{\text{mín}}$  é também 113,33 cm e o  $L_{\text{máx}}$  é 336 cm. Para espaçamentos entre vigas acima de 0,7 m e do  $L_{\text{máx}}$  de 336 cm o critério não satisfaz, conforme é demonstrado na figura.

Figura 8 - Gráfico de situação de viga e tábua com piso cerâmico, com carga acidental de corredor de uso comum e base  $b = 7,5$  cm



- Atende a NBR 7190 (1997)
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Área mínima
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão e tração
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão, tração, cisalhamento e flecha
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Estabilidade lateral
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão, tração e estabilidade lateral
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão, tração, cisalhamento, estabilidade lateral e flecha
- Não atende a NBR 7190 (1997) - Tensões de compressão, tração, estabilidade lateral e flecha

<sup>1)</sup> Estes valores foram obtidos com a espécie *Eucalyptus Grandis*.

Fonte: Autora (2022).

A partir dos gráficos apresentados nas figuras, pode ser observado que não existe espaçamento entre eixos de vigas que atenda completamente ao critério sugerido por Dias (2013) e a norma ABNT NBR 7190 (1997). Além disso, quando comparadas as bases, a base de 7,5 cm alcançou maiores vãos e espaçamentos entre eixos de vigas que a base de 5 cm.

#### 4.2 PFEIL E PFEIL (2003)

A partir do apresentado no capítulo 2.3.2 foi possível verificar quais vãos livres máximos ( $L_{m\acute{a}x}$ ) atendiam ao ELU e ao ELS para as cargas  $p_d$  e  $p$ . Para isso, foram verificados, para as cargas  $p_d$  e  $p$ , valores adotados a partir de 75 cm a 600 cm acrescentando sempre de 25 cm em 25 cm o vão livre  $L$ , conforme Pfeil e Pfeil (2003) realizaram.

Tabela 16 -  $L_{m\acute{a}x}$  para dicotiledôneas C20

Dicotiledôneas C20							
Seção (cm)	7,5x7,5	7,5x11,5	7,5x15	7,5x23	7,5x30,5	5x15	5x20
$L_{m\acute{a}x}$ (cm)	150	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autora (2022).

Tabela 17 -  $L_{m\acute{a}x}$  para dicotiledôneas C30

Dicotiledôneas C30							
Seção (cm)	7,5x7,5	7,5x11,5	7,5x15	7,5x23	7,5x30,5	5x15	5x20
$L_{m\acute{a}x}$ (cm)	175	100	150	200	300	150	150

Fonte: Autora (2022).

Tabela 18 -  $L_{m\acute{a}x}$  para dicotiledôneas C40

Dicotiledôneas C40							
Seção (cm)	7,5x7,5	7,5x11,5	7,5x15	7,5x23	7,5x30,5	5x15	5x20
$L_{m\acute{a}x}$ (cm)	150	150	150	200	275	125	175

Fonte: Autora (2022).

Tabela 19 -  $L_{m\acute{a}x}$  para dicotiledôneas C60

Dicotiledôneas C60							
Seção (cm)	7,5x7,5	7,5x11,5	7,5x15	7,5x23	7,5x30,5	5x15	5x20
$L_{m\acute{a}x}$ (cm)	150	125	200	200	275	150	175

Fonte: Autora (2022).

Tabela 20 -  $L_{m\acute{a}x}$  para coníferas C20

Coníferas C20							
Seção (cm)	7,5x7,5	7,5x11,5	7,5x15	7,5x23	7,5x30,5	5x15	5x20
$L_{m\acute{a}x}$ (cm)	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Autora (2022).

Tabela 21 -  $L_{m\acute{a}x}$  para coníferas C25

Coníferas C25							
Seção (cm)	7,5x7,5	7,5x11,5	7,5x15	7,5x23	7,5x30,5	5x15	5x20
$L_{m\acute{a}x}$ (cm)	75	75	150	175	175	125	150

Fonte: Autora (2022).

Tabela 22 -  $L_{m\acute{a}x}$  para coníferas C30

Coníferas C30							
Seção (cm)	7,5x7,5	7,5x11,5	7,5x15	7,5x23	7,5x30,5	5x15	5x20
$L_{m\acute{a}x}$ (cm)	175	100	150	150	175	150	150

Fonte: Autora (2022).

Em dicotiledôneas C20 e coníferas C20, na falta de valores que representassem quais os vãos livres máximos ( $L_{m\acute{a}x}$ ), foi considerado “-”, pois Pfeil e Pfeil (2003) não consideraram valores menores que 75 cm em suas tabelas. Apesar dos autores considerarem vãos de até 600 cm, pode-se observar que os vãos livres máximos que atendem aos critérios normativos não ultrapassam 300 cm para as cargas apresentadas.

Como apresentado acima, para as cargas calculadas por Pfeil e Pfeil (2003), somente alguns vãos livres das tabelas podem ser considerados atendendo aos critérios normativos. Assim, pode-se observar que as cargas  $p_d$  e  $p$  foram calculadas inadequadamente. Refazendo os cálculos utilizando as equações demonstradas em 3.2, pode-se obter valores reais de  $p_d$  e  $p$  que se adequaram às seções citadas nas tabelas 16 a 22 e para os vãos livres de 75 a 600 cm.

A tabela 23 demonstra os valores corrigidos para  $p_d$  e  $p$  para uma seção de 7,5 cm x 7,5 cm para dicotiledôneas C20. As demais tabelas para dicotiledôneas C20, C30, C40 e C60 e coníferas C20, C25 e C30 estão nos apêndices C a T. Para as dicotiledôneas C20 e coníferas C20 as tabelas foram representadas em sua plenitude de valores, desde os 75 cm aos 600 cm, já para as demais resistências foi avaliado somente para o comprimento de 600 cm.

Tabela 23 – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 7,5 cm para dicotiledôneas C20

Dicotiledôneas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 7,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	8	8,000	-	12,768
100	4,5	4,500	-	5,387
125	2,88	2,880	-	2,758
150	2	2,000	-	1,596
175	1,47	1,469	-	1,005
200	1,13	1,125	-	0,673
225	0,89	0,889	-	0,473
250	0,72	0,720	0,62	0,345
275	0,6	0,595	0,46	0,259
300	0,5	0,500	0,36	0,200
325	0,43	0,426	0,28	0,157
350	0,37	0,367	0,22	0,126
375	-	0,320	-	0,102
400	-	0,281	-	0,084
425	-	0,249	-	0,070
450	-	0,222	-	0,059
475	-	0,199	-	0,050
500	-	0,180	-	0,043
525	-	0,163	-	0,037
550	-	0,149	-	0,032
575	-	0,136	-	0,028
600	-	0,125	-	0,025

Fonte: Autora (2022).

Em dicotiledôneas C20, foram observados resultados neste trabalho diferenças percentuais de -3,58%, para  $p_d$ , e -44,58%, para  $p$ , em relação a Pfeil e Pfeil (2003). Em dicotiledôneas C30 as diferenças percentuais foram de -0,12% para  $p_d$  e -45,11% para  $p$ . Em dicotiledôneas C40, -0,50% para  $p_d$  e -44,29% para  $p$ . Em dicotiledôneas C60, -1,32% para  $p_d$

e -44,08% para p. Em coníferas C20, -3,58% para  $p_d$  e -45,18% para p. Em coníferas C25, -0,79% para  $p_d$  e -44,22% para p. Em coníferas C30, -0,12% para  $p_d$  e -45,11% para p.

A partir da tabela 23 e dos apêndices C ao T, pode-se observar que os valores apresentados pela autora são, em sua maioria, inferiores ou coincidentes com os valores de Pfeil e Pfeil (2003), demonstrando assim que a maior parte dos valores apresentados pelos autores estão contra a segurança aplicada pela ABNT NBR 7190 (1997), principalmente para o ELS.

## 5 CONCLUSÃO

No presente trabalho pôde-se avaliar os critérios e tabelas expeditos em relação ao atendimento da ABNT NBR 7190 (1990). Foram apresentados os conceitos e regras para o atendimento a norma para flexão simples reta da madeira de uma viga biapoiada de seção transversal retangular com carga uniformemente distribuída.

O critério apresentado por Dias (2013) foi verificado para certas circunstâncias limites. Portanto o critério avaliado pode não ser seguro para pré-dimensionar vigas biapoiadas de madeira maciça para o ELU e o ELS, se não forem adotados comprimentos e espaçamento entre vigas menores ou iguais aos apresentados no item 4.1.

Para as tabelas expeditas de Pfeil e Pfeil (2003) observa-se a proximidade dos resultados obtidos para ELU pela NBR 7190 (1997) em comparação aos valores de carregamento apresentados pelos autores. Já para o ELS, alguns casos apresentados por Pfeil e Pfeil (2003) não satisfazem as exigências da norma. A partir das cargas calculadas,  $p_d$  e  $p$ , neste trabalho, observa-se que valores das tabelas de Pfeil e Pfeil (2003) são superiores, chegando a superar em 3,58% para  $p_d$  e 45,18% para  $p$ , podendo não satisfazer a norma brasileira.

Assim, os critérios e tabelas expeditos de pré-dimensionamento podem ser aliados na hora da concepção de um projeto estrutural, porém, caso o projetista deseje utilizar algum destes critérios, é preciso que o faça com cautela.

### 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados discutidos no presente trabalho pode-se sugerir outros pontos para serem avaliados em próximos trabalhos, sendo os seguintes:

- Avaliar critérios de pré-dimensionamento utilizando tamanhos de seções transversais diferentes;
- Avaliar critérios de pré-dimensionamento utilizando diferentes espécies de madeira;
- Avaliar critérios de pré-dimensionamento utilizando valores de carregamentos diferentes;
- Comparar as cargas obtidas no critério sugerido por Dias (2013) com as cargas obtidas em Pfeil e Pfeil (2013);

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7203**: Madeira serrada e beneficiada. Rio de Janeiro, 1982.
- CORREIA, Emanuel André Soares. **Análise e dimensionamento de estruturas de madeira**. 2009. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2009.
- CROSSLAM BRASIL. **Tabela de pré-dimensionamento de estruturas de madeira**. 2013. Disponível em: [https://issuu.com/alandias/docs/tabela\\_de\\_pre\\_\\_\\_dimensionamento](https://issuu.com/alandias/docs/tabela_de_pre___dimensionamento). Acesso em: 12 nov. 2022.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 12 nov. 2022.
- MELO, Paula Rodrigues de. **Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora. 6ª ed. 2003.
- PRAVIA, Zacarias Martin Chamberlain. **Pré-dimensionamento de sistemas estruturais de aço e madeira**. 2002. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~zacarias/predimen.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2022.

**APÊNDICE A – Comparações de ELU e ELS para vigas com piso de tábuas e carga  
acidental de dormitório**

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td} \leq f_{td}$
5	5,882	100	0,5	17,472	5,045	OK
5	10,000	170	0,5	17,472	5,123	OK
5	11,765	200	0,5	17,472	5,157	OK
5	20,412	347	0,5	17,472	5,322	OK
5	23,529	400	0,5	17,472	5,381	OK
5	35,294	600	0,5	17,472	5,605	OK
5	47,059	800	0,5	17,472	5,829	OK
5	5,882	100	1	17,472	9,978	OK
5	10,000	170	1	17,472	10,056	OK
5	11,765	200	1	17,472	10,090	OK
5	14,471	246	1	17,472	10,141	OK
5	23,529	400	1	17,472	10,314	OK
5	35,294	600	1	17,472	10,538	OK
5	47,059	800	1	17,472	10,762	OK
5	5,882	100	1,2	17,472	11,951	OK
5	10,000	170	1,2	17,472	12,029	OK
5	11,765	200	1,2	17,472	12,063	OK
5	13,176	224	1,2	17,472	12,090	OK
5	23,529	400	1,2	17,472	12,287	OK
5	35,294	600	1,2	17,472	12,511	OK
5	47,059	800	1,2	17,472	12,735	OK
5	5,882	100	1,5	17,472	14,910	OK
5	11,765	200	1,5	17,472	15,022	OK
5	23,529	400	1,5	17,472	15,247	OK
5	35,294	600	1,5	17,472	15,471	OK
5	47,059	800	1,5	17,472	15,695	OK
5	5,882	100	2	17,472	19,843	Não OK
5	11,765	200	2	17,472	19,955	Não OK
5	23,529	400	2	17,472	20,179	Não OK
5	35,294	600	2	17,472	20,404	Não OK
5	47,059	800	2	17,472	20,628	Não OK
5	5,882	100	3	17,472	29,709	Não OK
5	11,765	200	3	17,472	29,821	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td} \leq f_{td}$
5	23,529	400	3	17,472	30,045	Não OK
5	35,294	600	3	17,472	30,269	Não OK
5	47,059	800	3	17,472	30,493	Não OK
5	5,882	100	5	17,472	49,440	Não OK
5	11,765	200	5	17,472	49,552	Não OK
5	23,529	400	5	17,472	49,776	Não OK
5	35,294	600	5	17,472	50,000	Não OK
5	47,059	800	5	17,472	50,224	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	17,472	3,401	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	17,472	3,513	OK
7,5	11,765	200	0,5	17,472	3,513	OK
7,5	23,529	400	0,5	17,472	3,737	OK
7,5	35,294	600	0,5	17,472	3,961	OK
7,5	35,647	606	0,5	17,472	3,968	OK
7,5	47,059	800	0,5	17,472	4,185	OK
7,5	5,882	100	1,5	17,472	9,978	OK
7,5	6,667	113,333	1,5	17,472	9,993	OK
7,5	11,765	200	1,5	17,472	10,090	OK
7,5	21,588	367	1,5	17,472	10,277	OK
7,5	23,529	400	1,5	17,472	10,314	OK
7,5	35,294	600	1,5	17,472	10,538	OK
7,5	47,059	800	1,5	17,472	10,762	OK
7,5	5,882	100	1,9	17,472	12,608	OK
7,5	6,667	113,333	1,9	17,472	12,623	OK
7,5	11,765	200	1,9	17,472	12,721	OK
7,5	19,118	325	1,9	17,472	12,861	OK
7,5	23,529	400	1,9	17,472	12,945	OK
7,5	35,294	600	1,9	17,472	13,169	OK
7,5	47,059	800	1,9	17,472	13,393	OK
7,5	5,882	100	2	17,472	13,266	OK
7,5	11,765	200	2	17,472	13,378	OK
7,5	23,529	400	2	17,472	13,602	OK
7,5	35,294	600	2	17,472	13,827	OK
7,5	47,059	800	2	17,472	14,051	OK
7,5	5,882	100	3	17,472	19,843	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td} \leq f_{td}$
7,5	11,765	200	3	17,472	19,955	Não OK
7,5	23,529	400	3	17,472	20,179	Não OK
7,5	35,294	600	3	17,472	20,404	Não OK
7,5	47,059	800	3	17,472	20,628	Não OK
7,5	5,882	100	5	17,472	32,997	Não OK
7,5	11,765	200	5	17,472	33,109	Não OK
7,5	23,529	400	5	17,472	33,334	Não OK
7,5	35,294	600	5	17,472	33,558	Não OK
7,5	47,059	800	5	17,472	33,782	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd} \leq f_{cd}$
5	5,882	100	0,5	12,896	5,045	OK
5	10,000	170	0,5	12,896	5,123	OK
5	11,765	200	0,5	12,896	5,157	OK
5	20,412	347	0,5	12,896	5,322	OK
5	23,529	400	0,5	12,896	5,381	OK
5	35,294	600	0,5	12,896	5,605	OK
5	47,059	800	0,5	12,896	5,829	OK
5	5,882	100	1	12,896	9,978	OK
5	10,000	170	1	12,896	10,056	OK
5	11,765	200	1	12,896	10,090	OK
5	14,471	246	1	12,896	10,141	OK
5	23,529	400	1	12,896	10,314	OK
5	35,294	600	1	12,896	10,538	OK
5	47,059	800	1	12,896	10,762	OK
5	5,882	100	1,2	12,896	11,951	OK
5	10,000	170	1,2	12,896	12,029	OK
5	11,765	200	1,2	12,896	12,063	OK
5	13,176	224	1,2	12,896	12,090	OK
5	23,529	400	1,2	12,896	12,287	OK
5	35,294	600	1,2	12,896	12,511	OK
5	47,059	800	1,2	12,896	12,735	OK
5	5,882	100	1,5	12,896	14,910	Não OK
5	11,765	200	1,5	12,896	15,022	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd} \leq f_{cd}$
5	23,529	400	1,5	12,896	15,247	Não OK
5	35,294	600	1,5	12,896	15,471	Não OK
5	47,059	800	1,5	12,896	15,695	Não OK
5	5,882	100	2	12,896	19,843	Não OK
5	11,765	200	2	12,896	19,955	Não OK
5	23,529	400	2	12,896	20,179	Não OK
5	35,294	600	2	12,896	20,404	Não OK
5	47,059	800	2	12,896	20,628	Não OK
5	5,882	100	3	12,896	29,709	Não OK
5	11,765	200	3	12,896	29,821	Não OK
5	23,529	400	3	12,896	30,045	Não OK
5	35,294	600	3	12,896	30,269	Não OK
5	47,059	800	3	12,896	30,493	Não OK
5	5,882	100	5	12,896	49,440	Não OK
5	11,765	200	5	12,896	49,552	Não OK
5	23,529	400	5	12,896	49,776	Não OK
5	35,294	600	5	12,896	50,000	Não OK
5	47,059	800	5	12,896	50,224	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	12,896	3,401	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	12,896	3,513	OK
7,5	11,765	200	0,5	12,896	3,513	OK
7,5	23,529	400	0,5	12,896	3,737	OK
7,5	35,294	600	0,5	12,896	3,961	OK
7,5	35,647	606	0,5	12,896	3,968	OK
7,5	47,059	800	0,5	12,896	4,185	OK
7,5	5,882	100	1,5	12,896	9,978	OK
7,5	6,667	113,333	1,5	12,896	9,993	OK
7,5	11,765	200	1,5	12,896	10,090	OK
7,5	21,588	367	1,5	12,896	10,277	OK
7,5	23,529	400	1,5	12,896	10,314	OK
7,5	35,294	600	1,5	12,896	10,538	OK
7,5	47,059	800	1,5	12,896	10,762	OK
7,5	5,882	100	1,9	12,896	12,608	OK
7,5	6,667	113,333	1,9	12,896	12,623	OK
7,5	11,765	200	1,9	12,896	12,721	OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd} \leq f_{cd}$
7,5	19,118	325	1,9	12,896	12,861	OK
7,5	23,529	400	1,9	12,896	12,945	Não OK
7,5	35,294	600	1,9	12,896	13,169	Não OK
7,5	47,059	800	1,9	12,896	13,393	Não OK
7,5	5,882	100	2	12,896	13,266	Não OK
7,5	11,765	200	2	12,896	13,378	Não OK
7,5	23,529	400	2	12,896	13,602	Não OK
7,5	35,294	600	2	12,896	13,827	Não OK
7,5	47,059	800	2	12,896	14,051	Não OK
7,5	5,882	100	3	12,896	19,843	Não OK
7,5	11,765	200	3	12,896	19,955	Não OK
7,5	23,529	400	3	12,896	20,179	Não OK
7,5	35,294	600	3	12,896	20,404	Não OK
7,5	47,059	800	3	12,896	20,628	Não OK
7,5	5,882	100	5	12,896	32,997	Não OK
7,5	11,765	200	5	12,896	33,109	Não OK
7,5	23,529	400	5	12,896	33,334	Não OK
7,5	35,294	600	5	12,896	33,558	Não OK
7,5	47,059	800	5	12,896	33,782	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{vd}$ (MPa)	$\tau_d$ (MPa)	$\tau_d \leq f_{vd}$
5	5,882	100	0,5	1,742	0,297	OK
5	10,000	170	0,5	1,742	0,301	OK
5	11,765	200	0,5	1,742	0,303	OK
5	20,412	347	0,5	1,742	0,313	OK
5	23,529	400	0,5	1,742	0,317	OK
5	35,294	600	0,5	1,742	0,330	OK
5	47,059	800	0,5	1,742	0,343	OK
5	5,882	100	1	1,742	0,587	OK
5	10,000	170	1	1,742	0,592	OK
5	11,765	200	1	1,742	0,594	OK
5	14,471	246	1	1,742	0,597	OK
5	23,529	400	1	1,742	0,607	OK
5	35,294	600	1	1,742	0,620	OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{vd}$ (MPa)	$\tau_d$ (MPa)	$\tau_d \leq f_{vd}$
5	47,059	800	1	1,742	0,633	OK
5	5,882	100	1,2	1,742	0,703	OK
5	10,000	170	1,2	1,742	0,708	OK
5	11,765	200	1,2	1,742	0,710	OK
5	13,176	224	1,2	1,742	0,711	OK
5	23,529	400	1,2	1,742	0,723	OK
5	35,294	600	1,2	1,742	0,736	OK
5	47,059	800	1,2	1,742	0,749	OK
5	5,882	100	1,5	1,742	0,877	OK
5	11,765	200	1,5	1,742	0,884	OK
5	23,529	400	1,5	1,742	0,897	OK
5	35,294	600	1,5	1,742	0,910	OK
5	47,059	800	1,5	1,742	0,923	OK
5	5,882	100	2	1,742	1,167	OK
5	11,765	200	2	1,742	1,174	OK
5	23,529	400	2	1,742	1,187	OK
5	35,294	600	2	1,742	1,200	OK
5	47,059	800	2	1,742	1,213	OK
5	5,882	100	3	1,742	1,748	Não OK
5	11,765	200	3	1,742	1,754	Não OK
5	23,529	400	3	1,742	1,767	Não OK
5	35,294	600	3	1,742	1,781	Não OK
5	47,059	800	3	1,742	1,794	Não OK
5	5,882	100	5	1,742	2,908	Não OK
5	11,765	200	5	1,742	2,915	Não OK
5	23,529	400	5	1,742	2,928	Não OK
5	35,294	600	5	1,742	2,941	Não OK
5	47,059	800	5	1,742	2,954	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	1,742	0,200	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	1,742	0,207	OK
7,5	11,765	200	0,5	1,742	0,207	OK
7,5	23,529	400	0,5	1,742	0,220	OK
7,5	35,294	600	0,5	1,742	0,233	OK
7,5	35,647	606	0,5	1,742	0,233	OK
7,5	47,059	800	0,5	1,742	0,246	OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{vd}$ (MPa)	$\tau_d$ (MPa)	$\tau_d \leq f_{vd}$
7,5	5,882	100	1,5	1,742	0,587	OK
7,5	6,667	113,333	1,5	1,742	0,588	OK
7,5	11,765	200	1,5	1,742	0,594	OK
7,5	21,588	367	1,5	1,742	0,605	OK
7,5	23,529	400	1,5	1,742	0,607	OK
7,5	35,294	600	1,5	1,742	0,620	OK
7,5	47,059	800	1,5	1,742	0,633	OK
7,5	5,882	100	1,9	1,742	0,742	OK
7,5	6,667	113,333	1,9	1,742	0,743	OK
7,5	11,765	200	1,9	1,742	0,748	OK
7,5	19,118	325	1,9	1,742	0,757	OK
7,5	23,529	400	1,9	1,742	0,761	OK
7,5	35,294	600	1,9	1,742	0,775	OK
7,5	47,059	800	1,9	1,742	0,788	OK
7,5	5,882	100	2	1,742	0,780	OK
7,5	11,765	200	2	1,742	0,787	OK
7,5	23,529	400	2	1,742	0,800	OK
7,5	35,294	600	2	1,742	0,813	OK
7,5	47,059	800	2	1,742	0,827	OK
7,5	5,882	100	3	1,742	1,167	OK
7,5	11,765	200	3	1,742	1,174	OK
7,5	23,529	400	3	1,742	1,187	OK
7,5	35,294	600	3	1,742	1,200	OK
7,5	47,059	800	3	1,742	1,213	OK
7,5	5,882	100	5	1,742	1,941	Não OK
7,5	11,765	200	5	1,742	1,948	Não OK
7,5	23,529	400	5	1,742	1,961	Não OK
7,5	35,294	600	5	1,742	1,974	Não OK
7,5	47,059	800	5	1,742	1,987	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\lambda_b$	$\lambda_0$	$\lambda_b \leq \lambda_0$	$\frac{Se \lambda_b \geq \lambda_0}{\sigma_{c0,d} \leq E_{c0,ef}/\lambda_b \beta_M}$
5	5,882	100	0,5	20,000	73,719	OK	
5	10,000	170	0,5	34,000	52,660	OK	

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\lambda_b$	$\lambda_0$	$\lambda_b \leq \lambda_0$	$Se \lambda_b \geq \lambda_0$	
							$\sigma_{c0,d} \leq E_{c0,ef}/\lambda_b \beta_M$	
5	11,765	200	0,5	40,000	46,279	OK		
5	20,412	347	0,5	69,400	28,665	Não OK	OK	
5	23,529	400	0,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK	
5	35,294	600	0,5	120,000	17,204	Não OK	Não OK	
5	47,059	800	0,5	160,000	13,060	Não OK	Não OK	
5	5,882	100	1	20,000	73,719	OK		
5	10,000	170	1	34,000	52,660	OK		
5	11,765	200	1	40,000	46,279	OK		
5	14,471	246	1	49,200	38,890	Não OK	OK	
5	23,529	400	1	80,000	25,166	Não OK	Não OK	
5	35,294	600	1	120,000	17,204	Não OK	Não OK	
5	47,059	800	1	160,000	13,060	Não OK	Não OK	
5	5,882	100	1,2	20,000	73,719	OK		
5	10,000	170	1,2	34,000	52,660	OK		
5	11,765	200	1,2	40,000	46,279	OK		
5	13,176	224	1,2	44,800	42,122	Não OK	OK	
5	23,529	400	1,2	80,000	25,166	Não OK	Não OK	
5	35,294	600	1,2	120,000	17,204	Não OK	Não OK	
5	47,059	800	1,2	160,000	13,060	Não OK	Não OK	
5	5,882	100	1,5	20,000	73,719	OK		
5	11,765	200	1,5	40,000	46,279	OK		
5	23,529	400	1,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK	
5	35,294	600	1,5	120,000	17,204	Não OK	Não OK	
5	47,059	800	1,5	160,000	13,060	Não OK	Não OK	
5	5,882	100	2	20,000	73,719	OK		
5	11,765	200	2	40,000	46,279	OK		
5	23,529	400	2	80,000	25,166	Não OK	Não OK	
5	35,294	600	2	120,000	17,204	Não OK	Não OK	
5	47,059	800	2	160,000	13,060	Não OK	Não OK	
5	5,882	100	3	20,000	73,719	OK		
5	11,765	200	3	40,000	46,279	OK		
5	23,529	400	3	80,000	25,166	Não OK	Não OK	
5	35,294	600	3	120,000	17,204	Não OK	Não OK	
5	47,059	800	3	160,000	13,060	Não OK	Não OK	

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\lambda_b$	$\lambda_0$	$\lambda_b \leq \lambda_0$	$\frac{Se \lambda_b \geq \lambda_0}{\sigma_{c0,d} \leq E_{c0,ef}/\lambda_b \beta_M}$
5	5,882	100	5	20,000	73,719	OK	
5	11,765	200	5	40,000	46,279	OK	
5	23,529	400	5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
5	35,294	600	5	120,000	17,204	Não OK	Não OK
5	47,059	800	5	160,000	13,060	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	13,333	71,967	OK	
7,5	6,667	113,333	0,5	15,111	77,259	OK	
7,5	11,765	200	0,5	26,667	62,753	OK	
7,5	23,529	400	0,5	53,333	36,261	Não OK	OK
7,5	35,294	600	0,5	80,000	25,166	Não OK	OK
7,5	35,647	606	0,5	80,800	24,936	Não OK	OK
7,5	47,059	800	0,5	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	1,5	13,333	71,967	OK	
7,5	6,667	113,333	1,5	15,111	77,259	OK	
7,5	11,765	200	1,5	26,667	62,753	OK	
7,5	21,588	367	1,5	48,933	39,072	Não OK	OK
7,5	23,529	400	1,5	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	1,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	1,5	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	1,9	13,333	71,967	OK	
7,5	6,667	113,333	1,9	15,111	77,259	OK	
7,5	11,765	200	1,9	26,667	62,753	OK	
7,5	19,118	325	1,9	43,333	43,316	Não OK	OK
7,5	23,529	400	1,9	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	1,9	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	1,9	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	2	13,333	71,967	OK	
7,5	11,765	200	2	26,667	62,753	OK	
7,5	23,529	400	2	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	2	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	2	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	3	13,333	71,967	OK	
7,5	11,765	200	3	26,667	62,753	OK	
7,5	23,529	400	3	53,333	36,261	Não OK	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\lambda_b$	$\lambda_0$	$\lambda_b \leq \lambda_0$	$\frac{Se \lambda_b \geq \lambda_0}{\sigma_{c0,d} \leq E_{c0,ef}/\lambda_b \beta_M}$
7,5	35,294	600	3	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	3	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	5	13,333	71,967	OK	
7,5	11,765	200	5	26,667	62,753	OK	Não OK
7,5	23,529	400	5	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	5	106,667	19,236	Não OK	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\delta$ (cm)	L/200 (cm)	$\delta \leq L/200$
5	5,882	100	0,5	0,062	0,500	OK
5	10,000	170	0,5	0,111	0,850	OK
5	11,765	200	0,5	0,134	1,000	OK
5	20,412	347	0,5	0,257	1,735	OK
5	23,529	400	0,5	0,307	2,000	OK
5	35,294	600	0,5	0,519	3,000	OK
5	47,059	800	0,5	0,771	4,000	OK
5	5,882	100	1	0,119	0,500	OK
5	10,000	170	1	0,208	0,850	OK
5	11,765	200	1	0,247	1,000	OK
5	14,471	246	1	0,310	1,230	OK
5	23,529	400	1	0,534	2,000	OK
5	35,294	600	1	0,861	3,000	OK
5	47,059	800	1	1,227	4,000	OK
5	5,882	100	1,2	0,142	0,500	OK
5	10,000	170	1,2	0,246	0,850	OK
5	11,765	200	1,2	0,293	1,000	OK
5	13,176	224	1,2	0,331	1,120	OK
5	23,529	400	1,2	0,625	2,000	OK
5	35,294	600	1,2	0,997	3,000	OK
5	47,059	800	1,2	1,409	4,000	OK
5	5,882	100	1,5	0,176	0,500	OK
5	11,765	200	1,5	0,361	1,000	OK
5	23,529	400	1,5	0,762	2,000	OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\delta$ (cm)	L/200 (cm)	$\delta \leq L/200$
5	35,294	600	1,5	1,202	3,000	OK
5	47,059	800	1,5	1,682	4,000	OK
5	5,882	100	2	0,233	0,500	OK
5	11,765	200	2	0,475	1,000	OK
5	23,529	400	2	0,990	2,000	OK
5	35,294	600	2	1,544	3,000	OK
5	47,059	800	2	2,137	4,000	OK
5	5,882	100	3	0,346	0,500	OK
5	11,765	200	3	0,703	1,000	OK
5	23,529	400	3	1,445	2,000	OK
5	35,294	600	3	2,227	3,000	OK
5	47,059	800	3	3,048	4,000	OK
5	5,882	100	5	0,574	0,500	Não OK
5	11,765	200	5	1,158	1,000	Não OK
5	23,529	400	5	2,356	2,000	Não OK
5	35,294	600	5	3,593	3,000	Não OK
5	47,059	800	5	4,869	4,000	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	0,043	0,500	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	0,054	0,567	OK
7,5	11,765	200	0,5	0,096	1,000	OK
7,5	23,529	400	0,5	0,231	2,000	OK
7,5	35,294	600	0,5	0,405	3,000	OK
7,5	35,647	606	0,5	0,411	3,030	OK
7,5	47,059	800	0,5	0,620	4,000	OK
7,5	5,882	100	1,5	0,119	0,500	OK
7,5	6,667	113,333	1,5	0,135	0,567	OK
7,5	11,765	200	1,5	0,247	1,000	OK
7,5	21,588	367	1,5	0,484	1,835	OK
7,5	23,529	400	1,5	0,534	2,000	OK
7,5	35,294	600	1,5	0,861	3,000	OK
7,5	47,059	800	1,5	1,227	4,000	OK
7,5	5,882	100	1,9	0,149	0,500	OK
7,5	6,667	113,333	1,9	0,170	0,567	OK
7,5	11,765	200	1,9	0,308	1,000	OK
7,5	19,118	325	1,9	0,521	1,625	OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\delta$ (cm)	L/200 (cm)	$\delta \leq L/200$
7,5	23,529	400	1,9	0,656	2,000	OK
7,5	35,294	600	1,9	1,043	3,000	OK
7,5	47,059	800	1,9	1,470	4,000	OK
7,5	5,882	100	2	0,157	0,500	OK
7,5	11,765	200	2	0,323	1,000	OK
7,5	23,529	400	2	0,686	2,000	OK
7,5	35,294	600	2	1,088	3,000	OK
7,5	47,059	800	2	1,530	4,000	OK
7,5	5,882	100	3	0,233	0,500	OK
7,5	11,765	200	3	0,475	1,000	OK
7,5	23,529	400	3	0,990	2,000	OK
7,5	35,294	600	3	1,544	3,000	OK
7,5	47,059	800	3	2,137	4,000	OK
7,5	5,882	100	5	0,384	0,500	OK
7,5	11,765	200	5	0,779	1,000	OK
7,5	23,529	400	5	1,597	2,000	OK
7,5	35,294	600	5	2,454	3,000	OK
7,5	47,059	800	5	3,351	4,000	OK

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE B – Comparações de ELU e ELS para vigas com piso de tábuas com  
cerâmica e carga accidental de corredor de uso comum**

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td} \leq f_{td}$
5	5,882	100	0,5	17,472	12,631	OK
5	10,000	170	0,5	17,472	12,710	OK
5	11,765	200	0,5	17,472	12,743	OK
5	12,765	217	0,5	17,472	12,762	OK
5	23,529	400	0,5	17,472	12,967	OK
5	35,294	600	0,5	17,472	13,191	OK
5	47,059	800	0,5	17,472	13,416	OK
5	5,882	100	1,5	17,472	37,669	Não OK
5	11,765	200	1,5	17,472	37,781	Não OK
5	23,529	400	1,5	17,472	38,005	Não OK
5	35,294	600	1,5	17,472	38,230	Não OK
5	47,059	800	1,5	17,472	38,454	Não OK
5	5,882	100	1,5	17,472	37,669	Não OK
5	11,765	200	1,5	17,472	37,781	Não OK
5	23,529	400	1,5	17,472	38,005	Não OK
5	35,294	600	1,5	17,472	38,230	Não OK
5	47,059	800	1,5	17,472	38,454	Não OK
5	5,882	100	3	17,472	75,226	Não OK
5	11,765	200	3	17,472	75,338	Não OK
5	23,529	400	3	17,472	75,562	Não OK
5	35,294	600	3	17,472	75,787	Não OK
5	47,059	800	3	17,472	76,011	Não OK
5	5,882	100	5	17,472	125,302	Não OK
5	11,765	200	5	17,472	125,414	Não OK
5	23,529	400	5	17,472	125,639	Não OK
5	35,294	600	5	17,472	125,863	Não OK
5	47,059	800	5	17,472	126,087	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	17,472	8,458	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	17,472	8,570	OK
7,5	11,765	200	0,5	17,472	8,570	OK
7,5	23,471	399	0,5	17,472	8,793	OK
7,5	23,529	400	0,5	17,472	8,794	OK
7,5	35,294	600	0,5	17,472	9,018	OK
7,5	47,059	800	0,5	17,472	9,243	OK
7,5	5,882	100	0,7	17,472	11,797	OK
7,5	6,667	113,333	0,7	17,472	11,811	OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td}$ (MPa)	$\sigma_{td} \leq f_{td}$
7,5	11,765	200	0,7	17,472	11,909	OK
7,5	19,765	336	0,7	17,472	12,061	OK
7,5	23,529	400	0,7	17,472	12,133	OK
7,5	35,294	600	0,7	17,472	12,357	OK
7,5	47,059	800	0,7	17,472	12,581	OK
7,5	5,882	100	1,5	17,472	25,150	Não OK
7,5	11,765	200	1,5	17,472	25,262	Não OK
7,5	23,529	400	1,5	17,472	25,486	Não OK
7,5	35,294	600	1,5	17,472	25,710	Não OK
7,5	47,059	800	1,5	17,472	25,935	Não OK
7,5	5,882	100	2	17,472	33,496	Não OK
7,5	11,765	200	2	17,472	33,608	Não OK
7,5	23,529	400	2	17,472	33,832	Não OK
7,5	35,294	600	2	17,472	34,057	Não OK
7,5	47,059	800	2	17,472	34,281	Não OK
7,5	5,882	100	3	17,472	50,188	Não OK
7,5	11,765	200	3	17,472	50,300	Não OK
7,5	23,529	400	3	17,472	50,524	Não OK
7,5	35,294	600	3	17,472	50,749	Não OK
7,5	47,059	800	3	17,472	50,973	Não OK
7,5	5,882	100	5	17,472	83,572	Não OK
7,5	11,765	200	5	17,472	83,684	Não OK
7,5	23,529	400	5	17,472	83,909	Não OK
7,5	35,294	600	5	17,472	84,133	Não OK
7,5	47,059	800	5	17,472	84,357	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd} \leq f_{cd}$
5	5,882	100	0,5	12,896	12,631	OK
5	10,000	170	0,5	12,896	12,710	OK
5	11,765	200	0,5	12,896	12,743	OK
5	12,765	217	0,5	12,896	12,762	OK
5	23,529	400	0,5	12,896	12,967	Não OK
5	35,294	600	0,5	12,896	13,191	Não OK
5	47,059	800	0,5	12,896	13,416	Não OK
5	5,882	100	1,5	12,896	37,669	Não OK
5	11,765	200	1,5	12,896	37,781	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd} \leq f_{cd}$
5	23,529	400	1,5	12,896	38,005	Não OK
5	35,294	600	1,5	12,896	38,230	Não OK
5	47,059	800	1,5	12,896	38,454	Não OK
5	5,882	100	1,5	12,896	37,669	Não OK
5	11,765	200	1,5	12,896	37,781	Não OK
5	23,529	400	1,5	12,896	38,005	Não OK
5	35,294	600	1,5	12,896	38,230	Não OK
5	47,059	800	1,5	12,896	38,454	Não OK
5	5,882	100	3	12,896	75,226	Não OK
5	11,765	200	3	12,896	75,338	Não OK
5	23,529	400	3	12,896	75,562	Não OK
5	35,294	600	3	12,896	75,787	Não OK
5	47,059	800	3	12,896	76,011	Não OK
5	5,882	100	5	12,896	125,302	Não OK
5	11,765	200	5	12,896	125,414	Não OK
5	23,529	400	5	12,896	125,639	Não OK
5	35,294	600	5	12,896	125,863	Não OK
5	47,059	800	5	12,896	126,087	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	12,896	8,458	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	12,896	8,570	OK
7,5	11,765	200	0,5	12,896	8,570	OK
7,5	23,471	399	0,5	12,896	8,793	OK
7,5	23,529	400	0,5	12,896	8,794	OK
7,5	35,294	600	0,5	12,896	9,018	OK
7,5	47,059	800	0,5	12,896	9,243	OK
7,5	5,882	100	0,7	12,896	11,797	OK
7,5	6,667	113,333	0,7	12,896	11,811	OK
7,5	11,765	200	0,7	12,896	11,909	OK
7,5	19,765	336	0,7	12,896	12,061	OK
7,5	23,529	400	0,7	12,896	12,133	OK
7,5	35,294	600	0,7	12,896	12,357	OK
7,5	47,059	800	0,7	12,896	12,581	OK
7,5	5,882	100	1,5	12,896	25,150	Não OK
7,5	11,765	200	1,5	12,896	25,262	Não OK
7,5	23,529	400	1,5	12,896	25,486	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd}$ (MPa)	$\sigma_{cd} \leq f_{cd}$
7,5	35,294	600	1,5	12,896	25,710	Não OK
7,5	47,059	800	1,5	12,896	25,935	Não OK
7,5	5,882	100	2	12,896	33,496	Não OK
7,5	11,765	200	2	12,896	33,608	Não OK
7,5	23,529	400	2	12,896	33,832	Não OK
7,5	35,294	600	2	12,896	34,057	Não OK
7,5	47,059	800	2	12,896	34,281	Não OK
7,5	5,882	100	3	12,896	50,188	Não OK
7,5	11,765	200	3	12,896	50,300	Não OK
7,5	23,529	400	3	12,896	50,524	Não OK
7,5	35,294	600	3	12,896	50,749	Não OK
7,5	47,059	800	3	12,896	50,973	Não OK
7,5	5,882	100	5	12,896	83,572	Não OK
7,5	11,765	200	5	12,896	83,684	Não OK
7,5	23,529	400	5	12,896	83,909	Não OK
7,5	35,294	600	5	12,896	84,133	Não OK
7,5	47,059	800	5	12,896	84,357	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{vd}$ (MPa)	$\tau_d$ (MPa)	$\tau_d \leq f_{vd}$
5	5,882	100	0,5	1,742	0,743	OK
5	10,000	170	0,5	1,742	0,748	OK
5	11,765	200	0,5	1,742	0,750	OK
5	12,765	217	0,5	1,742	0,751	OK
5	23,529	400	0,5	1,742	0,763	OK
5	35,294	600	0,5	1,742	0,776	OK
5	47,059	800	0,5	1,742	0,789	OK
5	5,882	100	1,5	1,742	2,216	Não OK
5	11,765	200	1,5	1,742	2,222	Não OK
5	23,529	400	1,5	1,742	2,236	Não OK
5	35,294	600	1,5	1,742	2,249	Não OK
5	47,059	800	1,5	1,742	2,262	Não OK
5	5,882	100	1,5	1,742	2,216	Não OK
5	11,765	200	1,5	1,742	2,222	Não OK
5	23,529	400	1,5	1,742	2,236	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{vd}$ (MPa)	$\tau_d$ (MPa)	$\tau_d \leq f_{vd}$
5	35,294	600	1,5	1,742	2,249	Não OK
5	47,059	800	1,5	1,742	2,262	Não OK
5	5,882	100	3	1,742	4,425	Não OK
5	11,765	200	3	1,742	4,432	Não OK
5	23,529	400	3	1,742	4,445	Não OK
5	35,294	600	3	1,742	4,458	Não OK
5	47,059	800	3	1,742	4,471	Não OK
5	5,882	100	5	1,742	7,371	Não OK
5	11,765	200	5	1,742	7,377	Não OK
5	23,529	400	5	1,742	7,391	Não OK
5	35,294	600	5	1,742	7,404	Não OK
5	47,059	800	5	1,742	7,417	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	1,742	0,498	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	1,742	0,504	OK
7,5	11,765	200	0,5	1,742	0,504	OK
7,5	23,471	399	0,5	1,742	0,517	OK
7,5	23,529	400	0,5	1,742	0,517	OK
7,5	35,294	600	0,5	1,742	0,530	OK
7,5	47,059	800	0,5	1,742	0,544	OK
7,5	5,882	100	0,7	1,742	0,694	OK
7,5	6,667	113,333	0,7	1,742	0,695	OK
7,5	11,765	200	0,7	1,742	0,701	OK
7,5	19,765	336	0,7	1,742	0,709	OK
7,5	23,529	400	0,7	1,742	0,714	OK
7,5	35,294	600	0,7	1,742	0,727	OK
7,5	47,059	800	0,7	1,742	0,740	OK
7,5	5,882	100	1,5	1,742	1,479	OK
7,5	11,765	200	1,5	1,742	1,486	OK
7,5	23,529	400	1,5	1,742	1,499	OK
7,5	35,294	600	1,5	1,742	1,512	OK
7,5	47,059	800	1,5	1,742	1,526	OK
7,5	5,882	100	2	1,742	1,970	Não OK
7,5	11,765	200	2	1,742	1,977	Não OK
7,5	23,529	400	2	1,742	1,990	Não OK
7,5	35,294	600	2	1,742	2,003	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$f_{vd}$ (MPa)	$\tau_d$ (MPa)	$\tau_d \leq f_{vd}$
7,5	47,059	800	2	1,742	2,017	Não OK
7,5	5,882	100	3	1,742	2,952	Não OK
7,5	11,765	200	3	1,742	2,959	Não OK
7,5	23,529	400	3	1,742	2,972	Não OK
7,5	35,294	600	3	1,742	2,985	Não OK
7,5	47,059	800	3	1,742	2,998	Não OK
7,5	5,882	100	5	1,742	4,916	Não OK
7,5	11,765	200	5	1,742	4,923	Não OK
7,5	23,529	400	5	1,742	4,936	Não OK
7,5	35,294	600	5	1,742	4,949	Não OK
7,5	47,059	800	5	1,742	4,962	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\lambda_b$	$\lambda_0$	$\lambda_b \leq \lambda_0$	$\frac{Se \lambda_b \geq \lambda_0}{\sigma_{c0,d} \leq E_{c0,ef}/\lambda_b \beta_M}$
5	5,882	100	0,5	20,000	73,719	OK	
5	10,000	170	0,5	34,000	52,660	OK	
5	11,765	200	0,5	40,000	46,279	OK	
5	12,765	217	0,5	43,400	43,260	Não OK	OK
5	23,529	400	0,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
5	35,294	600	0,5	120,000	17,204	Não OK	Não OK
5	47,059	800	0,5	160,000	13,060	Não OK	Não OK
5	5,882	100	1,5	20,000	73,719	OK	
5	11,765	200	1,5	40,000	46,279	OK	
5	23,529	400	1,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
5	35,294	600	1,5	120,000	17,204	Não OK	Não OK
5	47,059	800	1,5	160,000	13,060	Não OK	Não OK
5	5,882	100	1,5	20,000	73,719	OK	
5	11,765	200	1,5	40,000	46,279	OK	
5	23,529	400	1,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
5	35,294	600	1,5	120,000	17,204	Não OK	Não OK
5	47,059	800	1,5	160,000	13,060	Não OK	Não OK
5	5,882	100	3	20,000	73,719	OK	
5	11,765	200	3	40,000	46,279	OK	
5	23,529	400	3	80,000	25,166	Não OK	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\lambda_b$	$\lambda_0$	$\lambda_b \leq \lambda_0$	$\frac{Se \lambda_b \geq \lambda_0}{\sigma_{c0,d} \leq E_{c0,ef}/\lambda_b \beta_M}$
5	35,294	600	3	120,000	17,204	Não OK	Não OK
5	47,059	800	3	160,000	13,060	Não OK	Não OK
5	5,882	100	5	20,000	73,719	OK	
5	11,765	200	5	40,000	46,279	OK	
5	23,529	400	5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
5	35,294	600	5	120,000	17,204	Não OK	Não OK
5	47,059	800	5	160,000	13,060	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	13,333	71,967	OK	
7,5	6,667	113,333	0,5	15,111	77,259	OK	
7,5	11,765	200	0,5	26,667	62,753	OK	
7,5	23,471	399	0,5	53,200	36,340	Não OK	OK
7,5	23,529	400	0,5	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	0,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	0,5	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	0,7	13,333	71,967	OK	
7,5	6,667	113,333	0,7	15,111	77,259	OK	
7,5	11,765	200	0,7	26,667	62,753	OK	
7,5	19,765	336	0,7	44,800	42,122	Não OK	OK
7,5	23,529	400	0,7	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	0,7	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	0,7	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	1,5	13,333	71,967	OK	
7,5	11,765	200	1,5	26,667	62,753	OK	
7,5	23,529	400	1,5	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	1,5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	1,5	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	2	13,333	71,967	OK	
7,5	11,765	200	2	26,667	62,753	OK	
7,5	23,529	400	2	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	2	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	2	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	3	13,333	71,967	OK	
7,5	11,765	200	3	26,667	62,753	OK	
7,5	23,529	400	3	53,333	36,261	Não OK	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\lambda_b$	$\lambda_0$	$\lambda_b \leq \lambda_0$	$\frac{Se \lambda_b \geq \lambda_0}{\sigma_{c0,d} \leq E_{c0,ef}/\lambda_b \beta_M}$
7,5	35,294	600	3	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	3	106,667	19,236	Não OK	Não OK
7,5	5,882	100	5	13,333	71,967	OK	
7,5	11,765	200	5	26,667	62,753	OK	
7,5	23,529	400	5	53,333	36,261	Não OK	Não OK
7,5	35,294	600	5	80,000	25,166	Não OK	Não OK
7,5	47,059	800	5	106,667	19,236	Não OK	Não OK

Fonte: Autora (2022).

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\delta$ (cm)	L/200 (cm)	$\delta \leq L/200$
5	5,882	100	0,5	0,236	0,500	OK
5	10,000	170	0,5	0,407	0,850	OK
5	11,765	200	0,5	0,481	1,000	OK
5	12,765	217	0,5	0,524	1,085	OK
5	23,529	400	0,5	1,002	2,000	OK
5	35,294	600	0,5	1,562	3,000	OK
5	47,059	800	0,5	2,162	4,000	OK
5	5,882	100	1,5	0,697	0,500	Não OK
5	11,765	200	1,5	1,404	1,000	Não OK
5	23,529	400	1,5	2,848	2,000	Não OK
5	35,294	600	1,5	4,332	3,000	Não OK
5	47,059	800	1,5	5,854	4,000	Não OK
5	5,882	100	1,5	0,697	0,500	Não OK
5	11,765	200	1,5	1,404	1,000	Não OK
5	23,529	400	1,5	2,848	2,000	Não OK
5	35,294	600	1,5	4,332	3,000	Não OK
5	47,059	800	1,5	5,854	4,000	Não OK
5	5,882	100	3	1,390	0,500	Não OK
5	11,765	200	3	2,789	1,000	Não OK
5	23,529	400	3	5,617	2,000	Não OK
5	35,294	600	3	8,485	3,000	Não OK
5	47,059	800	3	11,393	4,000	Não OK
5	5,882	100	5	2,313	0,500	Não OK
5	11,765	200	5	4,635	1,000	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\delta$ (cm)	L/200 (cm)	$\delta \leq L/200$
5	23,529	400	5	9,310	2,000	Não OK
5	35,294	600	5	14,024	3,000	Não OK
5	47,059	800	5	18,777	4,000	Não OK
7,5	5,882	100	0,5	0,159	0,500	OK
7,5	6,667	113,333	0,5	0,186	0,567	OK
7,5	11,765	200	0,5	0,327	1,000	OK
7,5	23,471	399	0,5	0,692	1,995	OK
7,5	23,529	400	0,5	0,694	2,000	OK
7,5	35,294	600	0,5	1,101	3,000	OK
7,5	47,059	800	0,5	1,547	4,000	OK
7,5	5,882	100	0,7	0,220	0,500	OK
7,5	6,667	113,333	0,7	0,250	0,567	OK
7,5	11,765	200	0,7	0,451	1,000	OK
7,5	19,765	336	0,7	0,779	1,680	OK
7,5	23,529	400	0,7	0,941	2,000	OK
7,5	35,294	600	0,7	1,470	3,000	OK
7,5	47,059	800	0,7	2,039	4,000	OK
7,5	5,882	100	1,5	0,466	0,500	OK
7,5	11,765	200	1,5	0,943	1,000	OK
7,5	23,529	400	1,5	1,925	2,000	OK
7,5	35,294	600	1,5	2,947	3,000	OK
7,5	47,059	800	1,5	4,008	4,000	Não OK
7,5	5,882	100	2	0,620	0,500	Não OK
7,5	11,765	200	2	1,251	1,000	Não OK
7,5	23,529	400	2	2,541	2,000	Não OK
7,5	35,294	600	2	3,870	3,000	Não OK
7,5	47,059	800	2	5,239	4,000	Não OK
7,5	5,882	100	3	0,928	0,500	Não OK
7,5	11,765	200	3	1,866	1,000	Não OK
7,5	23,529	400	3	3,771	2,000	Não OK
7,5	35,294	600	3	5,716	3,000	Não OK
7,5	47,059	800	3	7,701	4,000	Não OK
7,5	5,882	100	5	1,543	0,500	Não OK
7,5	11,765	200	5	3,097	1,000	Não OK
7,5	23,529	400	5	6,233	2,000	Não OK

b (cm)	h (cm)	L (cm)	s (m)	$\delta$ (cm)	L/200 (cm)	$\delta \leq L/200$
7,5	35,294	600	5	9,408	3,000	Não OK
7,5	47,059	800	5	12,624	4,000	Não OK

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE C – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 11,5 cm para dicotiledôneas C20**

Dicotiledôneas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 11,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	18,81	18,400	-	46,029
100	10,58	10,580	-	19,419
125	6,77	6,771	-	9,942
150	4,7	4,702	-	5,754
175	3,45	3,455	-	3,623
200	2,65	2,645	-	2,427
225	2,09	2,090	-	1,705
250	1,69	1,693	-	1,243
275	1,4	1,399	-	0,934
300	1,18	1,176	-	0,719
325	1	1,002	-	0,566
350	0,86	0,864	0,81	0,453
375	0,75	0,752	0,66	0,368
400	0,66	0,661	0,54	0,303
425	0,59	0,586	0,45	0,253
450	0,52	0,522	0,38	0,213
475	0,47	0,469	0,32	0,181
500	0,42	0,423	0,28	0,155
525	0,38	0,384	0,24	0,134
550	0,35	0,350	0,21	0,117
575	0,32	0,320	0,18	0,102
600	0,29	0,294	0,16	0,090

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE D – Cargas  $p_a$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 15 cm para dicotiledôneas C20**

Dicotiledôneas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	24,89	24,000	-	102,144
100	18	18,000	-	43,092
125	11,52	11,520	-	22,063
150	8	8,000	-	12,768
175	5,88	5,878	-	8,040
200	4,5	4,500	-	5,387
225	3,56	3,556	-	3,783
250	2,88	2,880	-	2,758
275	2,38	2,380	-	2,072
300	2	2,000	-	1,596
325	1,7	1,704	-	1,255
350	1,47	1,469	-	1,005
375	1,28	1,280	-	0,817
400	1,13	1,125	-	0,673
425	1	0,997	-	0,561
450	0,89	0,889	-	0,473
475	0,8	0,798	-	0,402
500	0,72	0,720	0,62	0,345
525	0,65	0,653	0,53	0,298
550	0,6	0,595	0,46	0,259
575	0,54	0,544	0,4	0,227
600	0,5	0,500	0,36	0,200

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE E – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 23 cm para dicotiledôneas C20**

Dicotiledôneas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 23				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	38,16	36,800	-	368,233
100	28,62	27,600	-	155,348
125	22,9	22,080	-	79,538
150	18,81	18,400	-	46,029
175	13,82	13,819	-	28,986
200	10,58	10,580	-	19,419
225	8,36	8,360	-	13,638
250	6,77	6,771	-	9,942
275	5,6	5,596	-	7,470
300	4,7	4,702	-	5,754
325	4,01	4,007	-	4,525
350	3,45	3,455	-	3,623
375	3,01	3,009	-	2,946
400	2,65	2,645	-	2,427
425	2,34	2,343	-	2,024
450	2,09	2,090	-	1,705
475	1,88	1,876	-	1,450
500	1,69	1,693	-	1,243
525	1,54	1,535	-	1,074
550	1,4	1,399	1,67	0,934
575	1,28	1,280	1,46	0,817
600	1,18	1,176	1,28	0,719

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE F – Cargas  $p_a$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 30,5 cm para dicotiledôneas C20**

Dicotiledôneas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 30,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	50,61	48,800	-	858,694
100	37,96	36,600	-	362,262
125	30,36	29,280	-	185,478
150	25,3	24,400	-	107,337
175	21,69	20,914	-	67,594
200	18,61	18,300	-	45,283
225	14,7	14,700	-	31,803
250	11,91	11,907	-	23,185
275	9,84	9,841	-	17,419
300	8,27	8,269	-	13,417
325	7,05	7,046	-	10,553
350	6,08	6,075	-	8,449
375	5,29	5,292	-	6,870
400	4,65	4,651	-	5,660
425	4,12	4,120	-	4,719
450	3,68	3,675	-	3,975
475	3,3	3,298	-	3,380
500	2,98	2,977	-	2,898
525	2,5	2,700	-	2,503
550	2,46	2,460	3,89	2,177
575	2,25	2,251	3,4	1,906
600	2,07	2,067	2,99	1,677

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE G – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 5 cm x 15 cm para dicotiledôneas C20**

Dicotiledôneas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	16,59	16,000	-	68,096
100	12	12,000	-	28,728
125	7,68	7,680	-	14,709
150	5,33	5,333	-	8,512
175	3,92	3,918	-	5,360
200	3	3,000	-	3,591
225	2,37	2,370	-	2,522
250	1,92	1,920	-	1,839
275	1,59	1,587	-	1,381
300	1,33	1,333	-	1,064
325	1,14	1,136	-	0,837
350	0,98	0,980	-	0,670
375	0,85	0,853	-	0,545
400	0,75	0,750	-	0,449
425	0,66	0,664	-	0,374
450	0,59	0,593	-	0,315
475	0,53	0,532	0,48	0,268
500	0,48	0,480	0,41	0,230
525	0,44	0,435	0,35	0,199
550	0,4	0,397	0,31	0,173
575	0,36	0,363	0,27	0,151
600	0,33	0,333	0,24	0,133

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE H – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 5 cm x 20 cm para dicotiledôneas C20**

Dicotiledôneas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 20				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	22,12	21,333	-	161,413
100	16,59	16,000	-	68,096
125	13,27	12,800	-	34,865
150	9,48	9,481	-	20,177
175	6,97	6,966	-	12,706
200	5,33	5,333	-	8,512
225	4,21	4,214	-	5,978
250	3,41	3,413	-	4,358
275	2,82	2,821	-	3,274
300	2,37	2,370	-	2,522
325	2,02	2,020	-	1,984
350	1,74	1,741	-	1,588
375	1,52	1,517	-	1,291
400	1,33	1,333	-	1,064
425	1,18	1,181	-	0,887
450	1,05	1,053	-	0,747
475	0,95	0,946	1,13	0,635
500	0,85	0,853	0,97	0,545
525	0,77	0,774	0,84	0,471
550	0,71	0,705	0,73	0,409
575	0,65	0,645	0,64	0,358
600	0,59	0,593	0,56	0,315

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE I – Cargas  $p_a$  e  $p$  para dicotiledôneas C30**

Dicotiledôneas C30				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 7,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	-	0,188	-	0,038
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 11,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,44	0,441	0,25	0,137
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,75	0,750	0,54	0,305
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 23				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1,76	1,763	1,96	1,098
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 30,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	3,1	3,101	4,57	2,560
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,5	0,500	0,36	0,203
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 20				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,89	0,889	0,86	0,481

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE J – Cargas  $p_a$  e  $p$  para dicotiledôneas C40**

Dicotiledôneas C40				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 7,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	-	0,250	-	0,051
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 11,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,59	0,588	0,33	0,185
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1	1,000	0,73	0,410
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 23				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	2,35	2,351	2,64	1,476
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 30,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	4,13	4,134	5,31	3,443
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,67	0,667	0,49	0,273
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 20				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1,19	1,185	1,16	0,647

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE K – Cargas  $p_d$  e  $p$  para dicotiledôneas C60**

Dicotiledôneas C60				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 7,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,38	0,375	0,11	0,064
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 11,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,88	0,882	0,41	0,232
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1,5	1,500	0,92	0,515
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 23				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	3,53	3,527	3,31	1,855
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 30,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	6,2	6,202	7,72	4,325
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1	1,000	0,61	0,343
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 20				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1,78	1,778	1,45	0,813

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE L – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 7,5 cm para coníferas C20**

Coníferas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 7,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	8	8,000	8,4	4,704
100	4,5	4,500	3,54	1,985
125	2,88	2,880	1,81	1,016
150	2	2,000	1,05	0,588
175	1,47	1,469	0,66	0,370
200	1,13	1,125	0,44	0,248
225	0,89	0,889	0,31	0,174
250	0,72	0,720	0,23	0,127
275	0,6	0,595	0,17	0,095
300	0,5	0,500	0,13	0,074
325	0,43	0,426	0,1	0,058
350	-	0,367	-	0,046
375	-	0,320	-	0,038
400	-	0,281	-	0,031
425	-	0,249	-	0,026
450	-	0,222	-	0,022
475	-	0,199	-	0,019
500	-	0,180	-	0,016
525	-	0,163	-	0,014
550	-	0,149	-	0,012
575	-	0,136	-	0,010
600	-	0,125	-	0,009

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE M – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 11,5 cm para coníferas C20**

Coníferas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 11,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	18,81	18,400	-	16,958
100	10,58	10,580	-	7,154
125	6,77	6,771	6,54	3,663
150	4,7	4,702	3,79	2,120
175	3,45	3,455	2,38	1,335
200	2,65	2,645	1,6	0,894
225	2,09	2,090	1,12	0,628
250	1,69	1,693	0,82	0,458
275	1,4	1,399	0,61	0,344
300	1,18	1,176	0,47	0,265
325	1	1,002	0,37	0,208
350	0,86	0,864	0,3	0,167
375	0,75	0,752	0,24	0,136
400	0,66	0,661	0,2	0,112
425	0,59	0,586	0,17	0,093
450	0,52	0,522	0,14	0,079
475	0,47	0,469	0,12	0,067
500	0,42	0,423	0,1	0,057
525	-	0,384	-	0,049
550	-	0,350	-	0,043
575	-	0,320	-	0,038
600	-	0,294	-	0,033

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE N – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 15 cm para coníferas C20**

Coníferas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	24,89	24,000	-	37,632
100	18	18,000	-	15,876
125	11,52	11,520	-	8,129
150	8	8,000	-	4,704
175	5,88	5,878	5,29	2,962
200	4,5	4,500	3,54	1,985
225	3,56	3,556	2,49	1,394
250	2,88	2,880	1,81	1,016
275	2,38	2,380	1,36	0,763
300	2	2,000	1,05	0,588
325	1,7	1,704	0,83	0,462
350	1,47	1,469	0,66	0,370
375	1,28	1,280	0,54	0,301
400	1,13	1,125	0,44	0,248
425	1	0,997	0,37	0,207
450	0,89	0,889	0,31	0,174
475	0,8	0,798	0,26	0,148
500	0,72	0,720	0,23	0,127
525	0,65	0,653	0,2	0,110
550	0,6	0,595	0,17	0,095
575	0,54	0,544	0,15	0,084
600	0,5	0,500	0,13	0,074

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE O – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 23 cm para coníferas C20**

Coníferas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 23				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	38,16	36,800	-	135,665
100	28,62	27,600	-	57,234
125	22,9	22,080	-	29,304
150	18,81	18,400	-	16,958
175	13,82	13,819	-	10,679
200	10,58	10,580	-	7,154
225	8,36	8,360	-	5,025
250	6,77	6,771	6,54	3,663
275	5,6	5,596	4,91	2,752
300	4,7	4,702	3,79	2,120
325	4,01	4,007	2,98	1,667
350	3,45	3,455	2,38	1,335
375	3,01	3,009	1,94	1,085
400	2,65	2,645	1,6	0,894
425	2,34	2,343	1,33	0,746
450	2,09	2,090	1,12	0,628
475	1,88	1,876	0,95	0,534
500	1,69	1,693	0,82	0,458
525	1,54	1,535	0,71	0,396
550	1,4	1,399	0,61	0,344
575	1,28	1,280	0,54	0,301
600	1,18	1,176	0,47	0,265

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE P – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 7,5 cm x 30,5 cm para coníferas C20**

Coníferas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 30,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	50,61	48,800	-	316,361
100	37,96	36,600	-	133,465
125	30,36	29,280	-	68,334
150	25,3	24,400	-	39,545
175	21,69	20,914	-	24,903
200	18,61	18,300	-	16,683
225	14,7	14,700	-	11,717
250	11,91	11,907	-	8,542
275	9,84	9,841	-	6,418
300	8,27	8,269	-	4,943
325	7,05	7,046	6,94	3,888
350	6,08	6,075	5,56	3,113
375	5,29	5,292	4,52	2,531
400	4,65	4,651	3,72	2,085
425	4,12	4,120	3,1	1,739
450	3,68	3,675	2,62	1,465
475	3,3	3,298	2,22	1,245
500	2,98	2,977	1,91	1,068
525	2,7	2,700	1,65	0,922
550	2,46	2,460	1,43	0,802
575	2,25	2,251	1,25	0,702
600	2,07	2,067	1,1	0,618

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE Q – Cargas  $p_d$  e  $p$ , seção 5 cm x 15 cm para coníferas C20**

Coníferas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	16,59	16,000	-	25,088
100	12	12,000	-	10,584
125	7,68	7,680	-	5,419
150	5,33	5,333	-	3,136
175	3,92	3,918	3,53	1,975
200	3	3,000	2,36	1,323
225	2,37	2,370	1,66	0,929
250	1,92	1,920	1,21	0,677
275	1,59	1,587	0,91	0,509
300	1,33	1,333	0,7	0,392
325	1,14	1,136	0,55	0,308
350	0,98	0,980	0,44	0,247
375	0,85	0,853	0,36	0,201
400	0,75	0,750	0,3	0,165
425	0,66	0,664	0,25	0,138
450	0,59	0,593	0,21	0,116
475	0,53	0,532	0,18	0,099
500	0,48	0,480	0,15	0,085
525	0,44	0,435	0,13	0,073
550	0,4	0,397	0,11	0,064
575	0,36	0,363	0,1	0,056
600	-	0,333	-	0,049

Fonte: Autora (2022).

**APÊNDICE R – Cargas  $p_a$  e  $p$ , seção 5 cm x 20 cm para coníferas C20**

Coníferas C20				
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 20				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil	Autora	Pfeil e Pfeil	Autora
	$p_d$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	22,12	21,333	-	59,468
100	16,59	16,000	-	25,088
125	13,27	12,800	-	12,845
150	9,48	9,481	-	7,433
175	6,97	6,966	-	4,681
200	5,33	5,333	-	3,136
225	4,21	4,214	3,93	2,203
250	3,41	3,413	2,87	1,606
275	2,82	2,821	2,15	1,206
300	2,37	2,370	1,66	0,929
325	2,02	2,020	1,31	0,731
350	1,74	1,741	1,04	0,585
375	1,52	1,517	0,85	0,476
400	1,33	1,333	0,7	0,392
425	1,18	1,181	0,58	0,327
450	1,05	1,053	0,49	0,275
475	0,95	0,946	0,42	0,234
500	0,85	0,853	0,36	0,201
525	0,77	0,774	0,31	0,173
550	0,71	0,705	0,27	0,151
575	0,65	0,645	0,24	0,132
600	0,59	0,593	0,21	0,116

Fonte: Autora (2022).

### APÊNDICE S – Cargas $p_d$ e $p$ para coníferas C25

Coníferas C25				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 7,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	-	0,156	-	0,022
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 11,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	-	0,367	-	0,080
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,63	0,625	0,32	0,179
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 23				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1,47	1,469	1,15	0,643
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 30,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	2,58	2,584	2,68	1,501
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,42	0,417	0,21	0,119
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 20				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,74	0,741	0,5	0,282

Fonte: Autora (2022).

### APÊNDICE T – Cargas $p_d$ e $p$ para coníferas C30

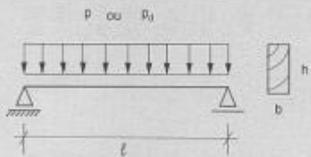
Coníferas C30				
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 7,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	-	0,188	-	0,038
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 11,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,44	0,441	0,25	0,137
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,75	0,750	0,54	0,305
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 23				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	1,76	1,763	1,96	1,098
Perfil b x h (cm x cm)				
7,5 x 30,5				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	3,1	3,101	4,57	2,560
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 15				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,5	0,500	0,36	0,203
Perfil b x h (cm x cm)				
5 x 20				
Vão livre (cm)	Pfeil e Pfeil $p_d$ (kN/m)	Autora $p_d$ (kN/m)	Pfeil e Pfeil $p$ (kN/m)	Autora $p$ (kN/m)
600	0,89	0,889	0,86	0,481

Fonte: Autora (2022).

## ANEXO A – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C20

**TABELA A.7.1** Vigas de seção retangular de madeira dura (dicotiledônea) C20 — Carga combinada máxima de projeto  $p_d$  determinada por tensões de flexão ou cisalhamento e carga combinada máxima  $p$  no estado limite de utilização (ver Probl. 6.11.7)

- Madeira dicotiledônea C20;  $k_{mod} = 0,56$
- $f_{cd} = 8 \text{ MPa}$ ;  $f_{ctd} = 1,2 \text{ MPa}$ ;  $E_{cd} = 5320 \text{ MPa}$
- flecha máxima =  $\ell/200$
- carga uniformemente distribuída
- E. L. Último  $p_d = \gamma_G G + \gamma_Q Q$
- E. L. Utilização  $p = G + \psi_2 Q$
- contraventamento lateral contínuo



Vão (cm)	Perfil $b \times h$ (cm $\times$ cm)													
	7,5 $\times$ 7,5		7,5 $\times$ 11,5		7,5 $\times$ 15		7,5 $\times$ 23		7,5 $\times$ 30,5		5 $\times$ 15		5 $\times$ 20	
	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	8,00		18,81		24,89		38,16		50,61		16,59		22,12	
100	4,50		10,58		18,00		28,62		37,96		12,00		16,59	
125	2,88		6,77		11,52		22,90		30,36		7,68		13,27	
150	2,00		4,70		8,00		18,81		25,30		5,33		9,48	
175	1,47		3,45		5,88		13,82		21,69		3,92		6,97	
200	1,13		2,65		4,50		10,58		18,61		3,00		5,33	
225	0,89		2,09		3,56		8,36		14,70		2,37		4,21	
250	0,72	0,62	1,69		2,88		6,77		11,91		1,92		3,41	
275	0,60	0,46	1,40		2,38		5,60		9,84		1,59		2,82	
300	0,50	0,36	1,18		2,00		4,70		8,27		1,33		2,37	
325	0,43	0,28	1,00		1,70		4,01		7,05		1,14		2,02	
350	0,37	0,22	0,86	0,81	1,47		3,45		6,08		0,98		1,74	
375			0,75	0,66	1,28		3,01		5,29		0,85		1,52	
400			0,66	0,54	1,13		2,65		4,65		0,75		1,33	
425			0,59	0,45	1,00		2,34		4,12		0,66		1,18	
450			0,52	0,38	0,89		2,09		3,68		0,59		1,05	
475			0,47	0,32	0,80		1,88		3,30		0,53	0,48	0,95	1,13
500			0,42	0,28	0,72	0,62	1,69		2,98		0,48	0,41	0,85	0,97
525			0,38	0,24	0,65	0,53	1,54		2,70		0,44	0,35	0,77	0,84
550			0,35	0,21	0,60	0,46	1,40	1,67	2,46	3,89	0,40	0,31	0,71	0,73
575			0,32	0,18	0,54	0,40	1,28	1,46	2,25	3,40	0,36	0,27	0,65	0,64
600			0,29	0,16	0,50	0,36	1,18	1,28	2,07	2,99	0,33	0,24	0,59	0,56

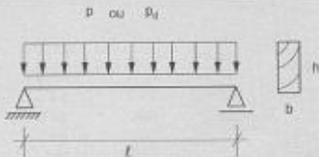
Notas:  $p_d = \min \left[ f_{cd} bh \frac{4}{36}, f_{ctd} bh^2 \frac{8}{6l^2} \right]$   
 $p = \frac{384 E_{cd} bh^3}{5 \times 12 \times 200 l^3}$

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

## ANEXO B – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C30

**TABELA A.7.2** Vigas de seção retangular de madeira dura (dicotiledônea) C30 — Carga combinada máxima de projeto  $p_d$  determinada por tensões de flexão ou cisalhamento e carga combinada máxima  $p$  no estado limite de utilização (ver Probl. 6.11.7)

- Madeira dicotiledônea C30;  $k_{mod} = 0,56$
- $f_{cd} = 12$  MPa;  $f_{ctd} = 1,6$  MPa;  $E_{ctd} = 8120$  MPa
- flecha máxima =  $\ell/200$
- carga uniformemente distribuída
- E. L. Último  $p_d = \gamma_G G + \gamma_Q Q$
- E. L. Utilização  $p = G + \psi_1 Q$
- contraventamento lateral contínuo



Perfil  $b \times h$  (cm  $\times$  cm)

Vão (cm)	7,5 $\times$ 7,5		7,5 $\times$ 11,5		7,5 $\times$ 15		7,5 $\times$ 23		7,5 $\times$ 30,5		5 $\times$ 15		5 $\times$ 20	
	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	12,00		23,85		31,11		47,70		63,26		20,74		27,65	
100	6,75		15,87		23,33		35,78		47,44		15,56		20,74	
125	4,32		10,16		17,28		28,62		37,96		11,52		16,59	
150	3,00		7,05		12,00		23,85		31,63		8,00		13,83	
175	2,20		5,18		8,82		20,44		27,11		5,88		10,45	
200	1,69		3,97		6,75		15,87		23,72		4,50		8,00	
225	1,33		3,13		5,33		12,54		21,09		3,56		6,32	
250	1,08	0,94	2,54		4,32		10,16		17,86		2,88		5,12	
275	0,89	0,71	2,10		3,57		8,39		14,76		2,38		4,23	
300	0,75	0,54	1,76		3,00		7,05		12,40		2,00		3,56	
325	0,64	0,43	1,50		2,56		6,01		10,57		1,70		3,03	
350	0,55	0,34	1,30	1,23	2,20		5,18		9,11		1,47		2,61	
375			1,13	1,00	1,92		4,51		7,94		1,28		2,28	
400			0,99	0,83	1,69		3,97		6,98		1,13		2,00	
425			0,88	0,69	1,49		3,51		6,18		1,00		1,77	
450			0,78	0,58	1,33		3,13		5,51		0,89		1,58	
475			0,70	0,49	1,20		2,81		4,95		0,80	0,73	1,42	1,73
500			0,63	0,42	1,08	0,94	2,54		4,47		0,72	0,63	1,28	1,48
525			0,58	0,37	0,98	0,81	2,30		4,05		0,65	0,54	1,16	1,28
550			0,52	0,32	0,89	0,71	2,10	2,54	3,69	5,93	0,60	0,47	1,06	1,12
575			0,48	0,28	0,82	0,62	1,92	2,23	3,38	5,19	0,54	0,41	0,97	0,98
600			0,44	0,25	0,75	0,54	1,76	1,96	3,10	4,57	0,50	0,36	0,89	0,86

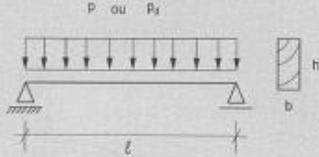
Nota:  $p_d = \min \left[ f_{cd} b \frac{4}{36}, f_{ctd} b h^2 \frac{8}{6 \ell^2} \right]$   
 $p = \frac{384 E_{ctd} b h^3}{5 \times 12 \times 200 \ell^3}$

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

## ANEXO C – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C40

**TABELA A.7.3** Vigas de seção retangular de madeira dura (dicotiledônea) C40 — Carga combinada máxima de projeto  $p_d$  determinada por tensões de flexão ou cisalhamento e carga combinada máxima  $p$  no estado limite de utilização (ver Probl. 6.11.7)

- Madeira dicotiledônea C40;  $k_{mod} = 0,56$
- $f_{cd} = 16 \text{ MPa}$ ;  $f_{ctd} = 1,9 \text{ MPa}$ ;  $E_{c,ef} = 10\,920 \text{ MPa}$
- flecha máxima =  $l/200$
- carga uniformemente distribuída
- E. L. Último  $p_d = \gamma_g G + \gamma_q Q$
- E. L. Utilização  $p = G + \psi_2 Q$
- contraventamento lateral contínuo



Perfil  $b \times h$  (cm  $\times$  cm)

Vão (cm)	7,5 $\times$ 7,5		7,5 $\times$ 11,5		7,5 $\times$ 15		7,5 $\times$ 23		7,5 $\times$ 30,5		5 $\times$ 15		5 $\times$ 20	
	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	16,00		28,62		37,33		57,24		75,91		24,89		33,19	
100	9,00		21,16		28,00		42,93		56,93		18,67		24,89	
125	5,76		13,54		22,40		34,35		45,55		14,93		19,91	
150	4,00		9,40		16,00		28,62		37,96		10,67		16,59	
175	2,94		6,91		11,76		24,53		32,53		7,84		13,93	
200	2,25		5,29		9,00		21,16		28,47		6,00		10,67	
225	1,78		4,18		7,11		16,72		25,30		4,74		8,43	
250	1,44	1,26	3,39		5,76		13,54		22,77		3,84		6,83	
275	1,19	0,95	2,80		4,76		11,19		19,68		3,17		5,64	
300	1,00	0,73	2,35		4,00		9,40		16,54		2,67		4,74	
325	0,85	0,58	2,00		3,41		8,01		14,09		2,27		4,04	
350	0,73	0,46	1,73	1,66	2,94		6,91		12,15		1,96		3,48	
375	0,64	0,37	1,50	1,35	2,56		6,02		10,58		1,71		3,03	
400	0,56	0,31	1,32	1,11	2,25		5,29		9,30		1,50		2,67	
425	0,50	0,26	1,17	0,93	1,99		4,69		8,24		1,33		2,36	
450	0,44	0,22	1,04	0,78	1,78		4,18		7,35		1,19		2,11	
475	0,40	0,18	0,94	0,66	1,60	1,47	3,75		6,60		1,06	0,98	1,89	
500	0,36	0,16	0,85	0,57	1,44	1,26	3,39		5,95		0,96	0,84	1,71	
525	0,33	0,14	0,77	0,49	1,31	1,09	3,07		5,40		0,87	0,73	1,55	
550			0,70	0,43	1,19	0,95	2,80	3,42	4,92	7,42	0,79	0,63	1,41	
575			0,64	0,37	1,09	0,83	2,56	3,00	4,50	6,25	0,73	0,55	1,29	1,31
600			0,59	0,33	1,00	0,73	2,35	2,64	4,13	5,31	0,67	0,49	1,19	1,16

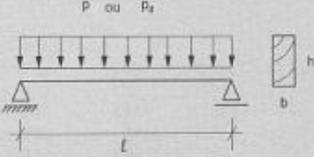
Nota:  $p_d = \min \left[ f_{cd} b h \frac{4}{36}, f_{ctd} b h^3 \frac{8}{6 \ell^3} \right]$   
 $p = \frac{384 E_{c,ef} b h^3}{5 \times 12 \times 200 \ell^3}$

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

## ANEXO D – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para dicotiledôneas C60

**TABELA A.7.4** Vigas de seção retangular de madeira dura (dicotiledônea) C60 — Carga combinada máxima de projeto  $p_d$  determinada por tensões de flexão ou cisalhamento e carga combinada máxima  $p$  no estado limite de utilização (ver Probl. 6.11.7)

- Madeira dicotiledônea C60;  $k_{mod} = 0,56$
- $f_{cd} = 24$  MPa;  $f_{td} = 2,5$  MPa;  $E_{c,ef} = 13\ 720$  MPa
- flecha máxima =  $\ell/200$
- carga uniformemente distribuída
- E. L. Último  $p_d = \gamma_g G + \gamma_q Q$
- E. L. Utilização  $p = G + \psi_2 Q$
- contraventamento lateral contínuo



Perfil  $b \times h$  (cm  $\times$  cm)

Vão (cm)	7,5 $\times$ 7,5		7,5 $\times$ 11,5		7,5 $\times$ 15		7,5 $\times$ 23		7,5 $\times$ 30,5		5 $\times$ 15		5 $\times$ 20	
	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	24,00		38,16		49,78		76,33		101,21		33,19		44,25	
100	13,50		28,62		37,33		57,24		75,91		24,89		33,19	
125	8,64		20,31		29,87		45,80		60,73		19,91		26,55	
150	6,00		14,11		24,00		38,16		50,61		16,00		22,12	
175	4,41		10,36		17,63		32,71		43,38		11,76		18,96	
200	3,38		7,94		13,50		28,62		37,96		9,00		16,00	
225	2,67	2,18	6,27		10,67		25,08		33,74		7,11		12,64	
250	2,16	1,59	5,08		8,64		20,31		30,36		5,76		10,24	
275	1,79	1,19	4,20	4,30	7,14		16,79		27,60		4,76		8,46	
300	1,50	0,92	3,53	3,31	6,00		14,11		24,81		4,00		7,11	
325	1,28	0,72	3,00	2,61	5,11	5,78	12,02		21,14		3,41		6,06	
350	1,10	0,58	2,59	2,09	4,41	4,63	10,36		18,23		2,94		5,22	
375	0,96	0,47	2,26	1,70	3,84	3,76	9,03		15,88		2,56		4,55	
400	0,84	0,39	1,98	1,40	3,38	3,10	7,94		13,95		2,25		4,00	
425	0,75	0,32	1,76	1,16	2,99	2,59	7,03		12,36		1,99		3,54	
450	0,67	0,27	1,57	0,98	2,67	2,18	6,27		11,03		1,78		3,16	
475	0,60	0,23	1,41	0,83	2,39	1,85	5,63		9,90		1,60	1,23	2,84	
500	0,54	0,20	1,27	0,72	2,16	1,59	5,08		8,93		1,44	1,06	2,56	2,51
525	0,49	0,17	1,15	0,62	1,96	1,37	4,61		8,10		1,31	0,91	2,32	2,17
550	0,45	0,15	1,05	0,54	1,79	1,19	4,20	4,30	7,38	10,03	1,19	0,80	2,12	1,88
575	0,41	0,13	0,96	0,47	1,63	1,04	3,84	3,76	6,75	8,78	1,09	0,70	1,94	1,65
600	0,38	0,11	0,88	0,41	1,50	0,92	3,53	3,31	6,20	7,72	1,00	0,61	1,78	1,45

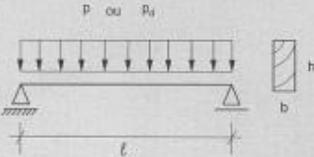
**Nota:**  $p_d = \min \left[ f_{cd} b \frac{4}{36} - f_{td} b h^2 \frac{8}{6\ell^2} \right]$   
 $p = \frac{384 E_{c,ef} b h^3}{5 \times 12 \times 200 \ell^3}$

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

## ANEXO E – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para coníferas C20

**TABELA A.7.5** Vigas de seção retangular de madeira macia (conífera) C20 — Carga combinada máxima de projeto  $p_d$  determinada por tensões de flexão ou cisalhamento e carga combinada máxima  $p$  no estado limite de utilização (ver Probl. 6.11.7)

- Madeira conífera C20;  $k_{mod} = 0,56$
- $f_{cd} = 8 \text{ MPa}; f_{td} = 1,2 \text{ MPa}; E_{cd} = 1960 \text{ MPa}$
- flecha máxima  $= \ell/200$
- carga uniformemente distribuída
- E. L. Último  $p_d = \gamma_g G + \gamma_q Q$
- E. L. Utilização  $p = G + \psi_2 Q$
- contraventamento lateral contínuo



Perfil  $b \times h$  (cm  $\times$  cm)

Vão (cm)	7,5 $\times$ 7,5		7,5 $\times$ 11,5		7,5 $\times$ 15		7,5 $\times$ 23		7,5 $\times$ 30,5		5 $\times$ 15		5 $\times$ 20	
	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75	8,00	8,40	18,81		24,89		38,16		50,61		16,59		22,12	
100	4,50	3,54	10,58		18,00		28,62		37,96		12,00		16,59	
125	2,88	1,81	6,77	6,54	11,52		22,90		30,36		7,68		13,27	
150	2,00	1,05	4,70	3,79	8,00		18,81		25,30		5,33		9,48	
175	1,47	0,66	3,45	2,38	5,88	5,29	13,82		21,69		3,92	3,53	6,97	
200	1,13	0,44	2,65	1,60	4,50	3,54	10,58		18,61		3,00	2,36	5,33	
225	0,89	0,31	2,09	1,12	3,56	2,49	8,36		14,70		2,37	1,66	4,21	3,93
250	0,72	0,23	1,69	0,82	2,88	1,81	6,77	6,54	11,91		1,92	1,21	3,41	2,87
275	0,60	0,17	1,40	0,61	2,38	1,36	5,60	4,91	9,84		1,59	0,91	2,82	2,15
300	0,50	0,13	1,18	0,47	2,00	1,05	4,70	3,79	8,27		1,33	0,70	2,37	1,66
325	0,43	0,10	1,00	0,37	1,70	0,83	4,01	2,98	7,05	6,94	1,14	0,55	2,02	1,31
350			0,86	0,30	1,47	0,66	3,45	2,38	6,08	5,56	0,98	0,44	1,74	1,04
375			0,75	0,24	1,28	0,54	3,01	1,94	5,29	4,52	0,85	0,36	1,52	0,85
400			0,66	0,20	1,13	0,44	2,65	1,60	4,65	3,72	0,75	0,30	1,33	0,70
425			0,59	0,17	1,00	0,37	2,34	1,33	4,12	3,10	0,66	0,25	1,18	0,58
450			0,52	0,14	0,89	0,31	2,09	1,12	3,68	2,62	0,59	0,21	1,05	0,49
475			0,47	0,12	0,80	0,26	1,88	0,95	3,30	2,22	0,53	0,18	0,95	0,42
500			0,42	0,10	0,72	0,23	1,69	0,82	2,98	1,91	0,48	0,15	0,85	0,36
525					0,65	0,20	1,54	0,71	2,70	1,65	0,44	0,13	0,77	0,31
550					0,60	0,17	1,40	0,61	2,46	1,43	0,40	0,11	0,71	0,27
575					0,54	0,15	1,28	0,54	2,25	1,25	0,36	0,10	0,65	0,24
600					0,50	0,13	1,18	0,47	2,07	1,10			0,59	0,21

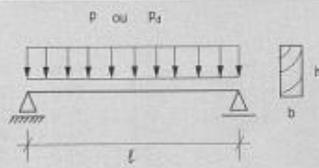
Nota:  $p_d = \min \left[ f_{cd} M \frac{4}{36}, f_{td} M^2 \frac{8}{6\ell^2} \right]$   
 $p = \frac{384 E_{cd} b h^3}{5 \times 12 \times 200 \ell^2}$

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

## ANEXO F – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para coníferas C25

**TABELA A.7.6** Vigas de seção retangular de madeira macia (conífera) C25 — Carga combinada máxima de projeto  $p_d$  determinada por tensões de flexão ou cisalhamento e carga combinada máxima  $p$  no estado limite de utilização (ver Probl. 6.11.7)

- Madeira conífera C25;  $k_{mod} = 0,56$
- $f_{cd} = 10$  MPa;  $f_{td} = 1,6$  MPa;  $E_{c,ef} = 4760$  MPa
- flecha máxima =  $l/200$
- carga uniformemente distribuída
- E. L. Último  $p_d = \gamma_k G + \gamma_q Q$
- E. L. Utilização  $p = G + \psi_2 Q$
- contraventamento lateral contínuo



		Perfil $b \times h$ (cm $\times$ cm)													
		7,5 $\times$ 7,5		7,5 $\times$ 11,5		7,5 $\times$ 15		7,5 $\times$ 23		7,5 $\times$ 30,5		5 $\times$ 15		5 $\times$ 20	
Vão (cm)		$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75		10,00		23,51		31,11		47,70		63,26		20,74		27,65	
100		5,63		13,23		22,50		35,78		47,44		15,00		20,74	
125		3,60		8,46		14,40		28,62		37,96		9,60		16,59	
150		2,50	2,55	5,88		10,00		23,51		31,63		6,67		11,85	
175		1,84	1,61	4,32		7,35		17,27		27,11		4,90		8,71	
200		1,41	1,08	3,31	3,88	5,63		13,23		23,26		3,75		6,67	
225		1,11	0,76	2,61	2,72	4,44		10,45		18,38		2,96		5,27	
250		0,90	0,55	2,12	1,99	3,60		8,46		14,88		2,40		4,27	
275		0,74	0,41	1,75	1,49	2,98		7,00		12,30		1,98		3,53	
300		0,63	0,32	1,47	1,15	2,50	2,55	5,88		10,34		1,67		2,96	
325		0,53	0,25	1,25	0,90	2,13	2,01	5,01		8,81		1,42	1,34	2,52	
350		0,46	0,20	1,08	0,72	1,84	1,61	4,32		7,59		1,22	1,07	2,18	
375		0,40	0,16	0,94	0,59	1,60	1,31	3,76		6,62		1,07	0,87	1,90	
400		0,35	0,13	0,83	0,48	1,41	1,08	3,31	3,88	5,81		0,94	0,72	1,67	
425		0,31	0,11	0,73	0,40	1,25	0,90	2,93	3,23	5,15		0,83	0,60	1,48	1,42
450				0,65	0,34	1,11	0,76	2,61	2,72	4,59		0,74	0,50	1,32	1,19
475				0,59	0,29	1,00	0,64	2,34	2,32	4,12		0,66	0,43	1,18	1,02
500				0,53	0,25	0,90	0,55	2,12	1,99	3,72		0,60	0,37	1,07	0,87
525				0,48	0,21	0,82	0,48	1,92	1,72	3,38		0,54	0,32	0,97	0,75
550						0,74	0,41	1,75	1,49	3,08	3,48	0,50	0,28	0,88	0,65
575						0,68	0,36	1,60	1,31	2,81	3,04	0,45	0,24	0,81	0,57
600						0,63	0,32	1,47	1,15	2,58	2,68	0,42	0,21	0,74	0,50

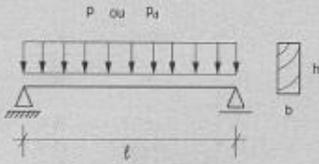
**Nota:**  $p_d = \min \left[ f_{cd} b h \frac{4}{36}, f_{td} b h^2 \frac{8}{6l^2} \right]$   
 $p = \frac{384 E_{c,ef} b h^3}{5 \times 12 \times 200 l^3}$

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).

## ANEXO G – Carregamentos máximos sugeridos por Pfeil e Pfeil (2003) para coníferas C30

**TABELA A.7.7** Vigas de seção retangular de madeira macia (conífera) C30 — Carga combinada máxima de projeto  $p_d$  determinada por tensões de flexão ou cisalhamento e carga combinada máxima  $p$  no estado limite de utilização (ver Probl. 6.11.7)

- Madeira conífera C30;  $k_{mod} = 0,56$
- $f_{cd} = 12$  MPa;  $f_{ctd} = 1,9$  MPa;  $E_{c,ef} = 8120$  MPa
- flecha máxima =  $l/200$
- carga uniformemente distribuída
- E. L. Último  $p_d = \gamma_g G + \gamma_q Q$
- E. L. Utilização  $p = G + \psi_2 Q$
- contraventamento lateral contínuo



Vão (cm)		Perfil $b \times h$ (cm $\times$ cm)													
		7,5 $\times$ 7,5		7,5 $\times$ 11,5		7,5 $\times$ 15		7,5 $\times$ 23		7,5 $\times$ 30,5		5 $\times$ 15		5 $\times$ 20	
		$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)	$p_d$ (kN/m)	$p$ (kN/m)
75		12,00		28,21		37,33		57,24		75,91		24,89		33,19	
100		6,75		15,87		27,00		42,93		56,93		18,00		24,89	
125		4,32		10,16		17,28		34,35		45,55		11,52		19,91	
150		3,00	4,35	7,05		12,00		28,21		37,96		8,00		14,22	
175		2,20	2,74	5,18		8,82		20,73		32,53		5,88		10,45	
200		1,69	1,84	3,97	6,62	6,75		15,87		27,91		4,50		8,00	
225		1,33	1,29	3,13	4,65	5,33		12,54		22,05		3,56		6,32	
250		1,08	0,94	2,54	3,39	4,32		10,16		17,86		2,88		5,12	
275		0,89	0,71	2,10	2,54	3,57		8,39		14,76		2,38		4,23	
300		0,75	0,54	1,76	1,96	3,00	4,35	7,05		12,40		2,00		3,56	
325		0,64	0,43	1,50	1,54	2,56	3,42	6,01		10,57		1,70	2,28	3,03	
350		0,55	0,34	1,30	1,23	2,20	2,74	5,18		9,11		1,47	1,83	2,61	
375		0,48	0,28	1,13	1,00	1,92	2,23	4,51		7,94		1,28	1,48	2,28	
400		0,42	0,23	0,99	0,83	1,69	1,84	3,97	6,62	6,98		1,13	1,22	2,00	
425		0,37	0,19	0,88	0,69	1,49	1,53	3,51	5,52	6,18		1,00	1,02	1,77	2,42
450		0,33	0,16	0,78	0,58	1,33	1,29	3,13	4,65	5,51		0,89	0,86	1,58	2,04
475		0,30	0,14	0,70	0,49	1,20	1,10	2,81	3,95	4,95		0,80	0,73	1,42	1,73
500		0,27	0,12	0,63	0,42	1,08	0,94	2,54	3,39	4,47		0,72	0,63	1,28	1,48
525				0,58	0,37	0,98	0,81	2,30	2,93	4,05		0,65	0,54	1,16	1,28
550				0,52	0,32	0,89	0,71	2,10	2,54	3,69	5,93	0,60	0,47	1,06	1,12
575				0,48	0,28	0,82	0,62	1,92	2,23	3,38	5,19	0,54	0,41	0,97	0,98
600				0,44	0,25	0,75	0,54	1,76	1,96	3,10	4,57	0,50	0,36	0,89	0,86

Nota:  $p_d = \min \left[ f_{cd} b h \frac{4}{36}, f_{ctd} b h^2 \frac{8}{6l^2} \right]$   
 $p = \frac{384 E_{c,ef} b h^3}{5 \times 12 \times 200 l^3}$

Fonte: Pfeil e Pfeil (2003).