

1. Propriedades das madeiras:

1.1 Propriedades a considerar

1.1.1 Generalidades

A estrutura anatômica do tronco da árvore, define as propriedades da madeira, destacando-se valores a tração e compressão paralela e perpendicular às fibras, para os diversos graus de umidade.

As definições abaixo foram transcritas do item 5 da NBR 7190/2010.

1.1.2. Densidade

Densidade básica é obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é obtida mantendo-se o corpo de prova em estufa a 103°C até que a sua massa específica permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos de prova submersos até atingirem peso constante.

$$\text{densidade básica} = \frac{\text{massa seca}}{\text{volume saturado}},$$

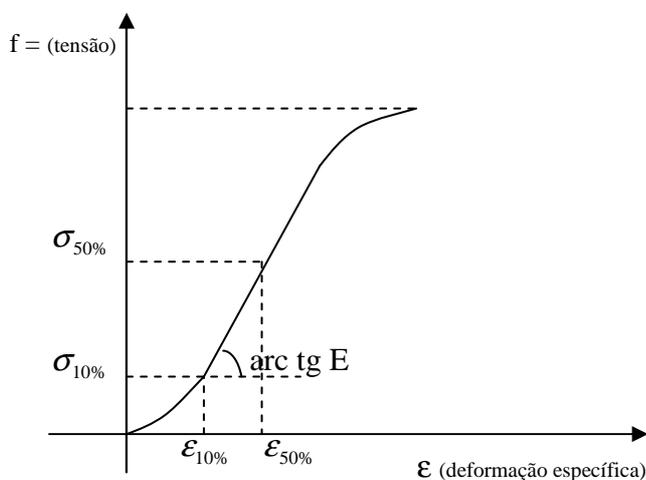
1.1.2. Resistência:

Define-se resistência, como a aptidão da matéria suportar tensões. A resistência de um material é determinada pela máxima tensão que pode ser aplicada a corpos da prova isentos de defeitos, até o aparecimento de fenômenos particulares de comportamento, além dos quais há restrição de emprego do material em elementos estruturais, em geral, ruptura ou deformação excessiva.

1.1.3. Rigidez:

Define-se como rigidez, ao valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elasto-linear no diagrama tensão x deformação.

E_c = Módulo de elasticidade na direção considerada, medido no ensaio de compressão paralela ou normal às fibras. É o coeficiente angular da reta secante à curva tensão x deformação, entre os pontos correspondentes a 10% e 50% da resistência convencional a compressão.



$E_{w0} = E_{c0}$ = Módulo de elasticidade na direção paralela às fibras, medido no ensaio de compressão paralela às fibras;

$$E_{w0} = E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$$

$E_{w90} = E_{c90}$ = Módulo de elasticidade na direção perpendicular às fibras, medido no ensaio de compressão normal às fibras.

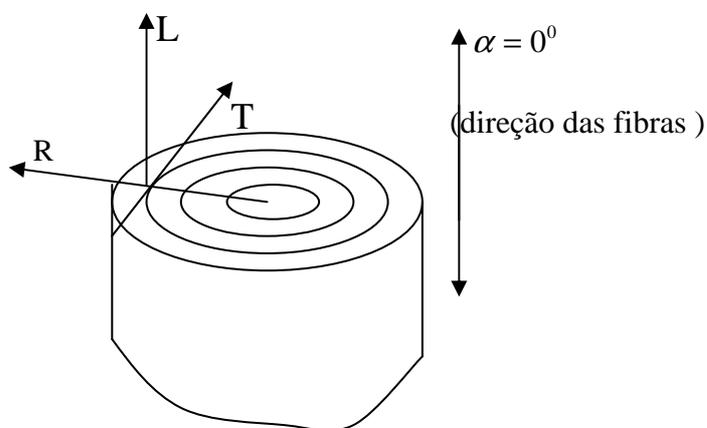
$$E_{w90} = E_{c90} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}}$$

Na falta de determinação experimental específica, permite-se adotar: $E_{w90} = \frac{1}{20} E_{w0}$

3.1.1. Anisotropia:

Devido a orientação das fibras, a madeira apresenta propriedades diferentes em relação a três direções principais, longitudinal (L), tangencial (T) e radial (R).

α é o ângulo formado entre a direção de uma força aplicada e a direção das fibras da madeira. Para $0^\circ \leq \alpha \leq 6^\circ$, a direção da força é considerada paralela às fibras, ou seja, considera-se $\alpha = 0^\circ$. Para $\alpha = 90^\circ$, a direção é chamada perpendicular às fibras.



1.1.4. Umidade:

O teor de umidade influencia muito as propriedades das madeiras. Madeiras secas são mais resistentes e menos elásticas, já as madeiras úmidas são mais elásticas e menos resistentes.

Madeiras verdes são aquelas cujo teor de umidade está acima do ponto de saturação das fibras (PSF) (ao redor de 30%), madeiras secas são aquelas cujo teor de umidade está em equilíbrio com a umidade relativa do ambiente em que será utilizada.

Madeiras secas apresentam propriedades mecânicas superiores e variações dimensionais menores, em relação às madeiras verdes.

As classes de umidade tem a finalidade de ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão as estruturas.

Assim, as propriedades mecânicas das madeiras serão referidas a uma umidade chamada de umidade padrão. A norma NBR 7190 / 2010 define no item 5.1.5 quatro classes de umidade e adota como padrão, $U_{eq} = 12\%$.

TABELA : 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	$\geq 25\%$

Correção dos valores da resistência e rigidez, para as condições padrão de umidade:

Correção para a umidade padrão de 12%, dos valores das propriedades de resistência e de rigidez de ensaios realizados em lotes de madeira com umidade com teores entre 10% e 25%, admitindo-se que para teores de umidade acima de 25%, as variações das propriedades são pequenas.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad \text{e} \quad E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right]$$

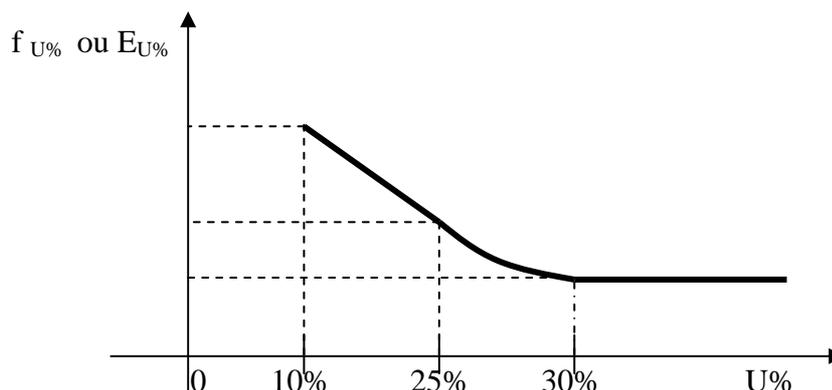


Gráfico ilustrativo da variação da resistência e rigidez das madeiras, em função do teor de umidade.

Retração da madeira:

Com a variação de umidade entre 0% e 30% (ponto de saturação), as madeiras sofrem retração ou inchamento, com variação aproximadamente linear.

Direção	Porcentagem de variação em relação a dimensão verde, para secagem de 30% a 0%	Comentários:
Tangencial	De 5,0% a 10%	Direção de retração mais pronunciada
Radial	De 2,5% a 5%	Metade do valor da direção tangencial
Longitudinal	De 0,1% a 0,3%	Valores pouco pronunciados

1.1.5. Duração do carregamento:

A duração do carregamento também influencia na resistência e rigidez das madeiras. Peças submetidas a carregamentos de curta duração, suportam maiores tensões do que se estivessem submetidas a carregamento de maior duração.

1.1.6. Temperatura:

Admite-se como desprezível a influência da temperatura, na faixa de utilização entre 10°C e 65°C, devendo a sua influência ser considerada na sua resistência e rigidez, quando as peças estruturais estiverem sujeitas durante longos períodos, a temperaturas fora dessa faixa.

Dilatação linear: O valor do coeficiente de dilatação térmica da madeira no sentido paralelo às fibras (longitudinal) é de cerca de 1/3 do valor do coeficiente de dilatação térmica do aço, já o perpendicular (transversal) é de 4 a 7 vezes, dependendo da dureza da madeira.

Longitudinal: α varia de $0,3 \times 10^{-5}$ a $0,45 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Transversal: α varia de $4,5 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para madeiras duras a $8,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ para madeiras moles.

1.1.7. Outras propriedades:

Outras propriedades físicas não aqui tratadas, tais como condutibilidade térmica, acústica, elétrica, etc, também são importantes na engenharia e, quando necessário, o engenheiro deverá consultar bibliografia especializada.

2. Caracterização das propriedades das madeiras:

2.2.1 Caracterização das propriedades mecânicas das madeiras:

a) Resistência à compressão paralela das fibras

($f_{wc,0}$ ou $f_{c,0}$), obtida por ensaio de duração 3 a 8 minutos.

b) Resistência à tração paralela às fibras

($f_{wt,0}$ ou $f_{t,0}$), obtida por ensaio de duração 3 a 8 minutos

c) Resistência à compressão normal às fibras

($f_{wc,90}$ ou $f_{c,90}$), obtida por ensaio de duração 3 a 8 minutos

d) Resistência à tração normal às fibras

($f_{wt,90}$ ou $f_{t,90}$), obtida por ensaio.

obs: para efeito de projeto estrutural, considera-se nula a resistência de peças de madeira a tração normal às fibras.

e) Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

($f_{wv,0}$ ou $f_{v,0}$), obtida por ensaio.

f) Resistência de embutimento paralelo às fibras

($f_{we,0}$ ou $f_{e,0}$), obtida por ensaio

g) Resistência de embutimento normal às fibras

(f_{we,90} ou f_{e,90}), obtida por ensaio

h) Densidade básica:

$$\text{densidade básica} = \frac{\text{massa seca}}{\text{volume saturado}}, \text{ conforme 5.1.2 da NBR 7190/2010}$$

2.2.2. Caracterização Simplificada da Resistência e da Rigidez da Madeira Serrada:

(segundo o item 5.3.3. da NBR 7190/2010)

2.2.2.1 Resistência: Na falta de determinação experimental para espécies usuais, a partir dos ensaios de compressão paralela às fibras, permite-se adotar:

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

$$f_{tM,k} = f_{t0,k}$$

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

$$f_{e0,k} = f_{c0,k}$$

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

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

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

2.2.2.2 Rigidez:**2.2.2.2.a) A partir do ensaio de compressão paralela às fibras**- E_{c0,m} e E_{c90,m}, determinados com pelo menos dois ensaios.- admite-se: E_{c0,m} = E_{t0,m}**2.2.2.2.b) A partir do ensaio de flexão**

Na impossibilidade de ensaio de compressão simples, permite-se determinar E_{c0,m} a partir do ensaio de flexão, determinando-se o módulo aparente de elasticidade na flexão E_m.

- coníferas: E_m = 0,85 E_{c0} ou E_{c0} = 1,176 E_m- dicotiledôneas: E_m = 0,90 E_{c0} ou E_{c0} = 1,111 E_m

2.2.3. Classes de resistência:

A Norma **NBR 7190 / 2010** não traz tabelas com resultados de resistência e rigidez de madeiras obtidas de árvores nativas ou de reflorestamento, apenas tabelas com classes de resistência de madeiras coníferas e dicotiledôneas.

a) Propriedades mecânicas tabeladas na NBR 7190 / 2010 para as dicotiledôneas:

Tabela - Classes de resistência das Folhosas					
Folhosas (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0,k}$ MP _a	$f_{v0,k}$ MP _a	$E_{c0,m}$ MP _a	$\rho_{bas,m}$ ¹⁾ kg/m ³	ρ_{ap} kg/m ³
C 20	20	4	9.500	500	650
C 30	30	5	14.500	650	800
C 40	40	6	19.500	750	950
C 50	50	7	22.000	770	970
C 60	60	8	24.500	800	1.000

Nota: Tabela 3 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

b) Propriedades mecânicas tabeladas na NBR 7190 / 2010 para as coníferas:

Tabela - Classes de resistência das Coníferas					
Coníferas ¹⁾ (Valores na condição-padrão de referência U = 12%)					
Classes	$f_{c0,k}$ MP _a	$f_{v0,k}$ MP _a	$E_{c0,m}$ MP _a	$\rho_{bas,m}$ ¹⁾ kg/m ³	ρ_{ap} kg/m ³
C 20	20	4	3.500	400	500
C 25	25	5	8.500	450	550
C 30	30	6	14.500	500	600

1) Para o enquadramento das Coníferas, exige-se a classificação visual e mecânica, pois, devido às presenças dos nós, não é possível garantir, só pela aparência externa, as propriedades tabeladas.
2) Nota: Tabela 2 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos

2.2.4. Valores médios de resistência e rigidez de várias espécies naturais e de reflorestamento:

A NBR 7190/2010 não apresenta tais valores especificados por espécies. Assim, é possível lançar mão das tabelas da antiga norma NBR7190/97 e do IPT.

2.2.4.1) Valores médios de resistência e rigidez de várias espécies naturais e de reflorestamento, segundo a NBR 7190/97, nas condições padrão de umidade:

TABELAS E.1 e E.2 - Transcritas da NBR 7190/97 com fins didáticos
Valores Médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de reflorestamento - U= 12%

	Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}^{1)}$ kg/m ³	$f_{c0}^{2)}$ MPa	$f_{t0}^{3)}$ MPa	$f_{t90}^{4)}$ MPa	$f_v^{5)}$ MPa	$E_{c0}^{6)}$ MPa	⁷⁾ n	
TABELA E.1	Angelim araroba	Vataireopsis araroba	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876	15	
	Angelim ferro	Hymenolobium spp	1.170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827	20	
	Angelim pedra	Hymenolobium petraeum	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912	39	
	Angelim pedra verdade	Dinizia excelsa	1.170	76,7	104,9	4,8	11,3	16694	12	
	Branquilho	Terminalia spp	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13481	10	
	Cacearana	Andira spp	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14098	11	
	Canafístula	Cassia ferruginea	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14613	12	
	Casca grossa	Vochysia spp	801	56,0	120,2	4,1	8,2	16224	31	
	Castelo	Gossypiospermum praecox	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11105	12	
	Cedro amargo	Cedrella odorata	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839	21	
	Cedro doce	Cedrella spp	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058	10	
	Champagne	Dipterys odorata	1.090	93,2	133,5	2,9	10,7	23002	12	
	Cupiúba	Goupia glabra	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13627	33	
	Catiúba	Qualea paraensis	1.221	83,8	86,2	3,3	11,1	19426	13	
	Eucalipto Alba	Eucalyptus alba	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13409	24	
	E. Camaldulensis	Eucalyptus camaldulensis	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13286	18	
	E. Citriodora	Eucalyptus citriodora	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18421	68	
	E. Cloeziana	Eucalyptus cloeziana	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13963	21	
	E. Dunni	Eucalyptus dunnii	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029	15	
	E. Grandis	Eucalyptus grandis	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12813	103	
	E. Maculata	Eucalyptus maculata	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18099	53	
	E. Maidene	Eucalyptus maidene	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14431	10	
	E. Microcorys	Eucalyptus microcorys	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16782	31	
	E. Paniculata	Eucalyptus paniculata	1.087	72,7	147,4	4,7	12,4	19881	29	
	E. Propinqua	Eucalyptus propinqua	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15561	63	
	E. Punctata	Eucalyptus punctata	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19360	70	
	TABELA E.2	E. Saligna	Eucalyptus saligna	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14933	67
		E. Tereticornis	Eucalyptus tereticornis	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17198	29
E. Triantha		Eucalyptus triantha	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14617	08	
E. Umbra		Eucalyptus umbra	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14577	08	
E. Urophylla		Eucalyptus urophylla	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13166	86	
Garapa Roraima		Apuleia leiocarpa	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18359	12	
Guaiçara		Luetzelburgia spp	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14624	11	
Guaruaia		Peltophorum vogelianum	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17212	13	
Ipê		Tabebuia serratifolia	1.068	76,0	96,8	3,1	3,1	18011	22	
Jatobá		Hymenaea spp	1.074	93,3	157,5	3,2	15,7	23607	20	
Louro preto		Ocotea spp	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14185	24	
Maçaranduba		Manikara spp	1.143	82,9	138,5	5,4	14,9	22733	12	
Mandioqueira		Qualea spp	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18971	16	
Oiticica amarela		Clarisia racemosa	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14719	12	
Quarubarana		Erismia uncinatum	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9067	11	
Sucupira		Diploptropis spp	1.106	95,2	123,4	3,4	11,8	21724	12	
Tatajuba		Bagassa guianensis	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19583	10	

¹⁾ $\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.

²⁾ f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras.

³⁾ f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras.

⁴⁾ f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras.

⁵⁾ f_v é a resistência ao cisalhamento.

⁶⁾ E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

⁷⁾ n é o número de corpos de prova ensaiados

Notas

1) Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais $\delta = 18\%$

2) Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais $\delta = 28\%$

TABELA E.3 - Transcrita da NBR 7190/97 com fins didáticos
Valores Médios de madeiras coníferas nativas e de reflorestamento
U= 12%

	Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}^{1)}$	$f_{c0}^{2)}$	$f_{t0}^{3)}$	$f_{t90}^{4)}$	$f_v^{5)}$	$E_{c0}^{6)}$	$n^{7)}$
			kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	n
TABELA E.3	Pinho do Paraná	Araucaria angustifolia	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225	15
	Pinus caribea	Pinus caribea var. caribea	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8341	28
	Pinus bahamensis	Pinus caribea var. bahamensis	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7110	32
	Pinus hondurensis	Pinus caribea var. hondurensis	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9868	99
	Pinus elliottii	Pinus elliottii var. elliotti	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889	21
	Pinus oocarpa	Pinus oocarpa shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10904	71
	Pinus taeda	Pinus taeda L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304	15

¹⁾ $\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.

²⁾ f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras.

³⁾ f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras.

⁴⁾ f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras.

⁵⁾ f_v é a resistência ao cisalhamento.

⁶⁾ E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

⁷⁾ n é o número de corpos de prova ensaiados

Notas

1) Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais $\delta = 18\%$

2) Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais $\delta = 28\%$

2.2.4.2) Valores médios de resistência e rigidez de várias espécies naturais e de reflorestamento, segundo o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas)

2.2.4.2.a) Generalidades:

Segundo o item 5.3.3. da NBR 7190/2010 na falta de determinação experimental para espécies usuais, a partir dos ensaios de compressão paralela às fibras, permite-se adotar caracterização simplificada da madeira. Assim, a partir dos resultados obtidos em ensaios de compressão paralela às fibras e através de procedimentos simplificados, sejam obtidas as demais características.

No caso de elaboração de um projeto, enquanto ainda não se tem a madeira a ser empregada, é possível usar os procedimentos simplificados com resultados de ensaios de compressão paralela às fibras efetuados por laboratórios idôneos, como por exemplo, as tabelas do IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

Os resultados constantes nessa tabela, referem-se a umidade de 15% a a madeira verde, sendo então necessária uma prévia correção da resistência e rigidez para as condições padrão de umidade.

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad \text{e} \quad E_{12} = E_{U\%} \left[1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right]$$

2.2.4.2.b) Valores médios das características das madeiras, segundo o IPT.

Tabela do livro Estruturas de Madeira – Walter Pfeil.- publicada com fins didáticos

TABELA 3.2. Características Mecânicas de Madeiras Brasileiras

N.º de Ordem	NOMENCLATURA	Compressão axial		Flexão estática		Módulo de elasticidade $E_{0,1}$ kgf/cm ² — Madeira verde				Choque (Madeira seca ao ar)			Cisalhamento	Dureza Janka	Tratado normal das fibras	Resistência	
		Limite de resistência, kgf/cm ²	Coeficiente de influência da umidade %	Limite de resistência, kgf/cm ²		Limite proporc.	Módulo	Flexão	Limite proporc.	Trabalho absorvido W kg X m	Coef. de resistência	Cota dim. mínima					R/D ³
				Madeira verde	Madeira 15% de umidade												
1	Arveiro-do-ortão	752	1,4	1 521	1 762	540	187 000	773	5,94	0,07	0,65	202	1 209	116	11,6		
2	Angico-preto	713	2,5	1 506	1 800	569	207 100	729	7,89	1,25	1,18	198	1 175	139	16,0		
3	Eucalyptus	521	4,7	1 140	1 238	344	161 800	481	4,62	0,73	0,69	186	803	103	13,0		
4	Ipê-tabaco	618	3,3	1 460	1 620	381	178 500	527	9,70	1,52	1,55	134	1 060	103	10,6		
5	Jatobá	695	4,3	1 531	1 803	546	205 000	672	4,07	0,64	0,61	206	1 330	135	17,1		
6	Coração-de-negro	515	3,0	1 108	1 192	351	122 100	406	2,51	0,40	0,40	156	1 185	109	12,4		
7	Cabriúva-vermelha	670	2,8	1 460	1 613	493	169 600	607	7,23	1,13	1,18	193	1 095	124	17,1		
8	Guaraná	629	4,6	1 452	1 693	431	202 500	606	6,53	1,05	1,20	191	1 027	128	16,4		
9	Faveiro	677	3,1	1 250	1 324	459	176 100	498	3,21	0,51	0,59	149	1 099	112	12,2		
10	Sucupira-parda	710	4,1	1 272	1 447	510	206 600	487	4,43	0,70	0,81	127	867	90	10,3		
11	Guariá	629	3,2	1 209	1 385	363	171 100	571	2,60	0,41	0,48	189	864	101	10,4		
12	Jacarandá	446	4,1	1 098	1 345	292	143 200	407	2,64	0,45	0,66	141	869	122	13,1		
13	Fau-roxo	653	4,0	1 477	1 881	500	209 700	648	6,95	1,10	1,38	152	902	85	11,3		
14	Pau-marfim	440	4,3	1 090	1 410	260	144 600	409	8,70	1,37	1,81	140	790	100	12,4		
15	Peroba-rosa	440	3,8	990	1 090	305	146 000	412	2,60	0,41	0,68	130	810	83	9,6		
16	Canela-azul	641	5,4	973	1 418	311	169 000	412	4,18	0,68	0,99	130	635	106	11,1		
17	Sapucaia-branca	454	3,0	1 072	1 235	376	144 700	415	4,57	0,72	1,22	127	719	102	12,8		
18	Peroba-de-campos	465	2,9	990	1 193	395	139 000	445	3,30	0,52	1,00	117	643	69	8,3		
19	Canela-parda	471	3,3	933	1 228	356	134 100	410	2,60	0,41	0,77	123	641	83	9,0		
20	Jacaré	372	4,3	845	1 012	250	103 800	350	4,20	0,08	1,20	136	641	101	11,1		
21	Pau-d'alho	314	4,2	704	848	245	115 000	320	1,60	0,25	0,56	73	445	40	6,1		
22	Apita-caval	312	4,1	687	912	217	85 000	266	3,29	0,62	1,20	106	477	57	7,1		
23	Imbuia	326	4,8	784	934	235	90 000	290	2,10	0,34	0,80	98	436	68	7,8		
24	Canela-vermelha	300	2,6	635	836	225	92 900	276	2,43	0,39	0,90	91	344	79	6,0		
25	Pinho-brasileiro	305	5,0	709	1 008	219	139 100	295	1,56	0,25	0,67	73	332	40	4,7		
26	Freijó	373	3,2	815	955	285	149 200	351	2,80	0,44	1,12	85	401	43	5,6		
27	Carvalho-brasileiro	257	0,1	667	1 001	181	138 300	244	3,68	0,57	1,19	76	381	95	10,0		
28	Cedro	200	4,3	637	903	217	104 400	255	2,00	0,32	0,80	77	300	55	6,3		
29	Caroba	200	5,0	459	658	130	64 200	203	1,36	0,19	0,58	78	342	66	6,9		
30	Jequitibá-rosa	334	2,3	720	929	260	108 500	343	2,14	0,34	1,11	88	413	63	6,1		
31	Figueira	274	4,6	601	833	182	110 200	250	2,18	0,35	1,04	74	370	50	5,7		
32	Noqueira-do-iguapo	121	2,9	327	409	90	32 700	138	0,90	0,14	0,69	57	264	56	5,4		
33	Caxeta	198	5,0	442	555	148	71 000	194	0,94	0,16	0,97	50	190	30	4,7		
34	Paineira	113	1,3	205	305	107	50 200	135	1,10	0,18	1,43	37	163	37	4,1		

Observações:
 1. As espécies foram dispostas da tabela em ordem decrescente de peso específico.
 2. As colunas de resultado em que não vem especificado o teor de umidade, referem-se à madeira verde.
 3. Os nomes das madeiras que figuram nesta tabela são os "nomes comerciais" preferidos pelo IPT.
 4. Esta tabela se baseia em dados publicados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.

3. Valores representativos: (Distribuição normal ou de Gauss)

3.1. Valor médio:

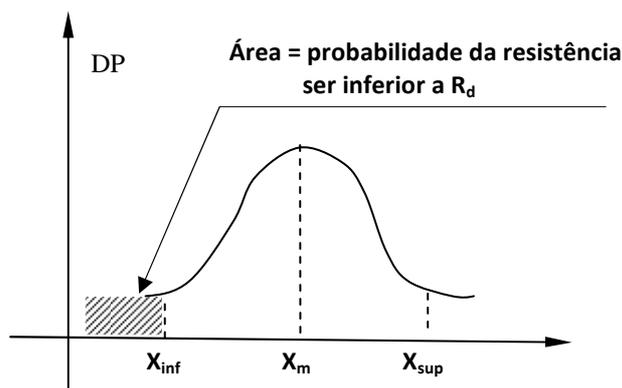
X_m = valor médio de uma propriedade da madeira, determinado pela média aritmética dos valores correspondentes aos elementos que compõem o lote.

3.2. Valores característicos:

$X_k = X_{kinf}$ = valor característico

X_{ksup} : valor superior, apresenta 5% de probabilidade de ser ultrapassado

X_{kinf} : valor inferior, apresenta 5% de probabilidade de ser atingido



Para a distribuição de Gauss nas condições acima, adota-se $f_{wk} = 0,70 f_{wm}$

3.3. Valores de Cálculo

3.3.1. Coefficiente de Modificação: (K_{mod})

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 da madeira de segunda qualidade.

O coeficiente de modificação K_{mod} é formado pelo produto dos coeficientes de modificação parciais abaixo.

$$K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3}$$

3.3.1.1. Classes de carregamento:

Por falta de informação na NBR 7190/2010, serão adotadas as classificações da tabela F2 da NBR 7190/97

TABELA F.2 DA NBR 7190/97 - CLASSES DE CARREGAMENTO	
Classe de Carregamento	Ordem de Grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	---
Longa duração	mais de seis meses
Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Menos de uma semana
Instantânea	Muito curta

3.3.1.2. Coeficiente de Modificação parcial $K_{mod 1}$:

O Coeficiente parcial de modificação parcial $K_{mod 1}$ leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado, conforme tabela abaixo..

Tabela - Valores de $K_{mod,1}$		
Classes de carregamento	Tipos de Madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa Duração	0,70	0,45
Média Duração	0,80	0,65
Curta Duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Nota: Tabela 4 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

3.3.1.3. Coeficiente de Modificação parcial $K_{mod 2}$:

O Coeficiente parcial de modificação $K_{mod 2}$, leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado, conforme tabela abaixo..

Tabela - Valores de $K_{mod,2}$		
Classes de umidade	Tipos de Madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
1	1,00	1,00
2	0,90	0,95
3	0,80	0,90
4	0,75	0,85

No caso particular de madeira serrada submersa, admite-se $K_{mod 2} = 0,65$

Nota: Tabela 5 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

3.3.1.4. Coeficiente de Modificação parcial $K_{mod 3}$:

3.3.1.4.a) Classificação das peças estruturais

O Coeficiente parcial de modificação $K_{mod 3}$, leva em consideração a qualidade da madeira. De acordo com os Métodos de Ensaio da NBR 7190/2010, para a avaliação da qualidade da madeira visando garantir a homogeneidade da rigidez das peças que compõe o lote, é necessária a classificação de todas as peças estruturais por meio dos seguintes ensaios:

- Classificação Visual;
- Classificação mecânica por tensões;
- Classificação mecânica por flexão estática;
- Classificação mecânica por vibração transversal;
- Classificação mecânica por ultra-som;

A classificação visual é executada em toda a extensão da peça e avalia a localização e natureza dos nós, bem como de outros defeitos presentes na superfície das mesmas, definindo quatro níveis de acordo com os mesmos.

- Classe Estrutural Especial (SE)
- Classe Estrutural nº 1 (S1)
- Classe Estrutural nº 2 (S2)
- Classe Estrutural nº 3 (S3)

Para demais ensaios e defeitos da madeira, o aluno deve consultar na NBR 7190/2010, em MÉTODOS DE ENSAIO, “MÉTODOS DE ENSAIO PARA CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA”.

3.3.1.4.b) Valores de $K_{mod,3}$

Tabela - Valores de $K_{mod,3}$ para coníferas				
Classificação	Classe	$K_{mod,3}$		
		(visual + flexão estática)	(visual + vibração transversal)	(visual + ultra-som)
Densas (D)	SE-D	1,00	0,90	0,85
	S1-D	0,95	0,85	0,80
	S2-D	0,90	0,80	0,75
	S3-D	0,85	0,75	0,70
Não Densas (ND)	SE-ND	1,00	0,85	0,80
	S1-ND	0,95	0,80	0,75
	S2-ND	0,90	0,75	0,70
	S3-ND	0,85	0,70	0,65

Nota: Tabela 6 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

Tabela - Valores de $K_{mod,3}$ para folhosas			
Classe	$K_{mod,3}$		
	(visual + flexão estática)	(visual + vibração transversal)	(visual + ultra-som)
SE	1,00	0,95	0,90
S1	0,95	0,90	0,85
S2	0,90	0,85	0,80
S3	0,85	0,80	0,75

Nota: Tabela 7 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

Tabela - Valores de $K_{mod,3}$ para madeiras não classificadas		
Madeira	Classificação	$K_{mod,3}$
folhosa	Não classificada	0,70
conífera	Não classificada	0,60

Segundo item 5.4.4.3 da NBR 7190/2010

3.3.2. Coeficientes de Ponderação

3.3.2.1. Coeficientes de Ponderação da Resistência para Estados Limites Últimos:

$$\begin{aligned} \text{compressão paralela às fibras:} & \quad \gamma_{wc} = 1,4 \\ \text{tração paralela às fibras:} & \quad \gamma_{wt} = 1,8 \\ \text{cisalhamento paralelo às fibras:} & \quad \gamma_{wv} = 1,8 \end{aligned}$$

3.3.2.2. Coeficiente de ponderação para Estados Limites de Utilização:

$$\gamma_w = 1,0$$

3.3.4 Valor da Resistência de cálculo (X_d ou f_{wd})

$$X_d = K_{\text{mod}} \frac{X_K}{\gamma_w} \quad \text{com} \quad X_K = 0,7 X_M$$

$$\text{ou} \quad f_{wd} = K_{\text{mod}} \frac{f_{wK}}{\gamma_w} \quad \text{com} \quad f_{wK} = 0,7 f_{wM}$$

3.3.5. Valor da rigidez:

Módulo de Elasticidade Paralelo às fibras

$$E_{c0,ef} = K_{\text{mod}1} \cdot K_{\text{mod}2} \cdot K_{\text{mod}3} \cdot E_{c0,m}$$

Módulo de Elasticidade Transversal

$$G_{ef} = E_{c90,ef} = \frac{E_{c0,ef}}{20}$$

4) Exemplos:

Ex.1: Determinar a resistência de cálculo e o módulo de elasticidade efetivo a compressão paralela às fibras, referida a condição padrão de umidade ($U_{eq} = 12\%$), conhecidos:

- Madeira dicotiledônea serrada, classe S2;
- Classificação visual e por ultra-som;
- $f_{c0,m 15\%} = 5,8 \text{ kN/cm}^2$ (limite de resistência média a compressão paralela às fibras);
- $E_{c0,m 20\%} = 1460 \text{ kN/cm}^2$;
- Ação de longa duração;
- $\alpha \leq 6^\circ$.

Solução:

a) Resistência de cálculo à compressão paralela às fibras.

Como o valor limite de resistência média à compressão paralela às fibras, obtido em ensaios, refere-se a 15% de umidade, devemos corrigi-lo para a condição padrão de umidade ($U = 12\%$),

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

$$f_{c0,m12\%} = 5,8 \left[1 + \frac{3(15 - 12)}{100} \right]$$

$$f_{c0,m12\%} = 6,32 \text{ kN/cm}^2 \text{ (valor médio)}$$

$$f_{c0k,12} = 0,7 \cdot f_{c0,m12\%} = 0,7 \cdot 6,32 = 4,42 \text{ kN/cm}^2 \text{ (valor característico)}$$

$$K_{mod,1} = 0,7 \text{ (longa duração)}; K_{mod,2} = 1,0 \text{ (classe 1)}; K_{mod,3} = 0,8 \text{ (S2, visual+ultra-som)}$$

$$\gamma_{WC} = \gamma_C = 1,4 \text{ (compressão)}$$

$$\therefore K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3} = 0,7 \times 1 \times 0,8 = 0,56$$

$$f_{c0,d} = K_{mod} \frac{f_{c0k,12}}{\gamma_c} = 0,56 \cdot \frac{4,42}{1,4} = 1,768 \text{ kN/cm}^2 \text{ (valor de cálculo)}$$

b) Módulo de elasticidade efetivo à compressão paralela às fibras.

Correção para condição padrão de umidade.

$$E_{c0,m 12\%} = E_{c0m,20\%} \left[1 + \frac{2(20 - 12)}{100} \right]$$

$$E_{c0,m 12\%} = 1460 \left[1 + \frac{2(20-12)}{100} \right] = 1693,6 \text{ kN/cm}^2 \text{ (valor médio)}$$

$$E_{c0,ef 12\%} = K_{mod} \cdot E_{c0,m 12\%} = 0,56 \cdot 1693,6 = 948,42 \text{ kN/cm}^2 \text{ (valor efetivo)}$$

Ex. 2: Determinar a resistência de cálculo à tração paralela às fibras do Pinho do Paraná, nas condições padrão de umidade, considerando:

- Madeira serrada não classificada;
- Ação de média duração;
- Umidade ambiente $U < 65\%$
- $\alpha \leq 6^\circ$

Solução:

Da tabela E.3 da NBR 7190/97 vem:

para $U = 12\%$, $f_{t0,m 12\%} = 93,1 \text{ MPa} = 9,31 \text{ kN/cm}^2$ (resistência média)

$f_{t0,k 12\%} = 0,7 f_{t0,m 12\%} = 0,7 \times 9,31 = 6,52 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ (resistência característica)

$K_{\text{mod}1} = 0,8$ (média duração); $K_{\text{mod}2} = 1,0$ (classe 1); $K_{\text{mod}3} = 0,6$ (não classificada)

$K_{\text{mod}} = 0,8 \times 1 \times 0,6 = 0,48$

$f_{t0,d 12\%} = K_{\text{mod}} \frac{f_{t0,k 12\%}}{\gamma_t} = 0,48 \cdot \frac{6,52}{1,8} = 1,736 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ (resistência de cálculo)

Ex. 3: Para uma madeira dicotiledônea classe de resistência C50, nas condições padrão de umidade, determinar:

- $f_{c0,d}$ = resistência a compressão paralela às fibras de cálculo;
 $f_{v0,d}$ = resistência a cisalhamento paralelo às fibras de cálculo;
 $E_{c0,ef}$ = módulo de elasticidade longitudinal efetivo;
 $f_{t0,d}$ = resistência a tração paralela às fibras de cálculo;

Dados:

- $\alpha < 6^\circ$;
- $K_{\text{mod}} = 0,64$

Solução:

Da tabela 2 da NBR 7190/2010, vem: $f_{c0,K} = 50 \text{ MPa}$, $f_{v0,k} = 7 \text{ MPa}$; $E_{c0,m} = 22000 \text{ MPa}$

$f_{c0,d} = K_{\text{mod}} \frac{f_{c0,k 12\%}}{\gamma_c} = 0,64 \cdot \frac{50}{1,4} = 22,86 \text{ MPa} = 2,286 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$f_{v0,d} = K_{\text{mod}} \frac{f_{v0,k 12\%}}{\gamma_v} = 0,64 \cdot \frac{7}{1,8} = 2,49 \text{ MPa} = 0,249 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$E_{c0,ef} = K_{\text{mod}} E_{c0,m} = 0,64 \cdot 22000 = 14080 \text{ MPa} = 1408 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

As demais propriedades não constam na tabela 2 da NBR 7190/2010. Assim, por procedimentos simplificados, vem:

$f_{c0,k 12\%} = 0,77 f_{t0,k 12\%}$, portanto $f_{t0,k 12\%} = \frac{50}{0,77} = 64,94 \text{ MPa}$ (resistência característica)

$f_{t0,d 12\%} = 0,64 \cdot \frac{64,94}{1,8} = 23,09 \text{ MPa} = 2,309 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ (resistência de cálculo)

Ex. 4: Para a peroba rosa, a partir do ensaio de compressão paralela às fibras, pede – se determinar nas condições padrão de umidade, as resistências de cálculo a:

- $f_{t0,d}$ = resistência a tração paralela às fibras de cálculo;
 $f_{e0,d}$ = resistência ao embutimento paralelo e normal às fibras;
 $f_{e90,d}$ = resistência ao embutimento normal às fibras;
 $f_{v0,d}$ = resistência a cisalhamento paralelo às fibras de cálculo;

Dados:

- $\alpha < 6^\circ$
- madeira serrada
- $K_{mod} = 0,56$
- $f_{c0,m 15\%} = 5,8 \text{ kN/cm}^2$ (valor obtido em tabela de ensaios realizados pelo IPT)

Solução:

Comentários:

A peroba rosa é uma das madeiras não constantes nas tabelas E1, E2 e E3 da NBR 7190/97. Nestes casos, lança-se mão de resultados de ensaios elaborados por laboratórios idôneos, como o do IPT.

Como dispomos apenas da resistência à compressão paralela às fibras, a caracterização das resistências será feita de acordo com os procedimentos simplificados do item 5.3.3 da NBR 7190/2010, a partir resistência característica a compressão paralela às fibras ($f_{c0,k}$).

Cálculos:

Limite de resistência a 12% de umidade:

$$f_{c0,m 12\%} = 5,8 \left[1 + 3 \frac{(15 - 12)}{100} \right] = 6,32 \text{ kN/cm}^2$$

Resistência característica:

$$f_{c0,k 12\%} = 0,7 \times 6,32 = 4,428 \text{ kN/cm}^2$$

Determinação das resistências de cálculo, de acordo com 5.3.3 da NBR 7190/2010:

- Tração paralela às fibras: $f_{c0,k} = 0,77 f_{t0,k}$

$$\therefore f_{t0,k} = \frac{f_{c0,k}}{0,77} = \frac{4,428}{0,77} = 5,751 \text{ kN/cm}^2 \quad ; \quad f_{t0,d} = 0,56 \cdot \frac{5,751}{1,8} = 1,789 \text{ kN/cm}^2$$

- Embutimento paralelo às fibras: $f_{e0,k} = f_{c0,k} = 4,428 \text{ kN/cm}^2$

$$f_{e0,k} = f_{c0,k} = 4,428 \text{ kN/cm}^2 \quad ; \quad f_{e0,d} = 0,56 \cdot \frac{4,428}{1,4} = 1,771 \text{ kN/cm}^2$$

- Embutimento normal às fibras:

$$f_{e90,k} = 0,25 f_{c0,k} = 0,25 \cdot 4,428 = 1,107 \text{ kN/cm}^2 \quad ; \quad f_{e90,d} = 0,56 \cdot \frac{1,107}{1,4} = 0,443 \text{ kN/cm}^2$$

- Cisalhamento paralela às fibras:

Como a peroba é dicotiledônea, vem:

$$f_{v0,k} = 0,12 \cdot f_{c0,k} = 0,12 \cdot 4,428 = 0,531 \text{ kN/cm}^2 \quad ; \quad f_{v0,d} = 0,56 \cdot \frac{0,531}{1,8} = 0,165 \text{ kN/cm}^2$$

5 Exercícios propostos:

Ex. 1. Assinalar com F a afirmação falsa, com V a verdadeira.

- a) Quanto a coloração, normalmente uma madeira **escura** é mais resistente que uma madeira **clara**.
- b) Entre duas madeiras, normalmente a mais densa é a mais resistente.
- c) Peças de madeira destinadas a estruturas, nunca devem ser desmembradas de troncos mortos.
- d) O aumento do teor de umidade na madeira, reduz a sua resistência mecânica e aumenta a elasticidade.

Resp: a) V, b) V, c) V, d) V

Ex. 2. Descrever o crescimento do tronco de uma árvore, suas partes componentes e as formas de desdobro da tora.

Ex. 3. Qual a finalidade da definição de classes de umidade para a madeira?

Ex. 4. O que é "condição padrão de umidade"?

Ex. 5. Como são feitas as correções dos valores da resistência e da rigidez, de madeiras ensaiadas com teores de umidade entre 10% e 25%, para as condições padrão de umidade?

Ex.6. De acordo com a NBR 7190/2010, como é feita a caracterização simplificada da resistência e da rigidez da madeira serrada?

Ex. 7. O que são e como se obtém os valores médios e característicos das propriedades das madeiras? Ilustrar a resposta, com a indicação desses pontos numa curva de Gauss.

Ex. 8. Quando, para uso estrutural, uma madeira pode ser considerada de primeira categoria?

Ex. 9. O que leva em conta o coeficiente de modificação (K_{mod}), no cálculo das propriedades das madeiras?

Ex.10. A partir dos valores médios, como são obtidos os valores das diversas resistências de cálculo e dos módulos de elasticidade efetivos a compressão paralela e transversal às fibras da madeira?

Ex.11: Determinar a resistência de cálculo a tração paralela às fibras e os módulos de elasticidade efetivos paralelo e transversal às fibras, de uma peça de Eucalipto Saligna, nas condições padrão de umidade.

Dados: a) Madeira serrada classe S1;

b) Classificação visual + ultrassom;

c) Ação permanente

Resp. : $f_{c0,d12\%} = 1,894 \text{ kN/cm}^2$, $E_{c0,ef 12\%} = 761,6 \text{ kN/cm}^2$, $E_{c90,ef 12\%} = 38,08 \text{ kN/cm}^2$

Ex.12: Determinar a resistência de cálculo e o módulo de elasticidade a compressão paralela às fibras, de uma peça de Pau-roxo para $U_{amb} < 65\%$;

- Dados: a) Madeira serrada classe S2;
 b) Classificação visual + flexão estática;
 c) Ação de curta duração.

$$\text{Resp.: } f_{c0,d12\%} = 5,411 \text{ kN/cm}^2, E_{c0,ef12\%} = 2361,0 \text{ kN/cm}^2$$

Ex.13: Para as madeiras abaixo, elaborar memória de cálculo e preencher a tabela das características indicadas, nas condições padrão de umidade.

Dados:

- a) Madeira Serrada, não classificada;
 b) Onde necessário, usar os procedimentos de caracterização simplificada da resistência e rigidez, da NBR 7190/2010;
 c) Carregamento de longa duração
 d) Adotar : $1\text{kN/cm}^2 = 10 \text{ MPa} = 100 \text{ kgf/cm}^2$;

Madeiras:	Unidades: kN / cm ²								
	$f_{c0,d}$	$f_{t0,d}$	$f_{t90,d}$	$f_{c90,d}$	$f_{v0,d}$	$f_{e0,d}$	$f_{e90,d}$	$E_{c0,ef}$	$E_{c90,ef}$
Champagne									
Pinus Elliottii									
Sucupira									
Sucupira-parda									
Açoita-cavalo									
Caxeta									

Ex.14: Foram rompidos a compressão paralela às fibras nas condições padrão de umidade, corpos de prova de uma madeira dicotiledônea desconhecida. A média dos resultados obtidos foi $f_{c0,m} = 61,3 \text{ MPa}$. Classificá-la por classe de resistência.

Resp.: C 40

Ex 15. Determine as seguintes características de uma madeira conífera classe C20, nas condições padrão de umidade.

- $f_{c0,d}$ = resistência a compressão paralela às fibras de cálculo;
 $f_{v0,d}$ = resistência a cisalhamento paralelo às fibras de cálculo;
 $E_{c0,ef}$ = módulo de elasticidade longitudinal efetivo;

Dados:

- a) $\alpha < 6^\circ$;
 b). $K_{mod} = 0,51$

$$\text{Resp.: } f_{c0,d} = 7,286 \text{ MPa} ; f_{v0,d} = 1,133 \text{ MPa} ; E_{c0,ef} = 1785 \text{ MPa}$$

6) Formulário e tabelas a serem usados nas provas e na resolução dos exercícios.

Formulários e Tabelas para a caracterização das propriedades das madeiras, segundo a NBR 7190/2010

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

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

$$f_d = K_{mod} \frac{f_k}{\gamma}$$

$$f_k = 0,70 f_m$$

$$K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3}$$

$$E_{c0,ef} = K_{mod} E_{c0,m}$$

$$G_{ef} = E_{c90,ef} = \frac{E_{c0,ef}}{20}$$

$$\gamma_c = 1,4 \quad ; \quad \gamma_t = \gamma_V = 1,8$$

TABELA: 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	$\geq 25\%$

TABELA: CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS CONÍFERAS					
CONÍFERAS					
(Valores na condição-padrão de referência $U = 12\%$)					
Classes	f_{c0k} MP _a	f_{vk} MP _a	$E_{c0,m}$ MP _a	$\rho_{bas,m}$ ¹⁾ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	2	3.500	400	500
C 25	25	5	8.500	450	550
C 30	30	6	14.500	500	600

¹⁾ Para o enquadramento das Coníferas, exige-se a classificação visual e mecânica, pois, devido às presenças dos nós, não é possível garantir, só pela aparência externa, as propriedades tabeladas.
2) Nota: Tabela 2 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos

TABELA: CLASSES DE RESISTÊNCIA DAS DICOTILEDÔNEAS					
DICOTILEDÔNEAS					
(Valores na condição-padrão de referência $U = 12\%$)					
Classes	f_{c0k} MP _a	f_{vk} MP _a	$E_{c0,m}$ MP _a	$\rho_{bas,m}$ ¹⁾ kg/m ³	$\rho_{aparente}$ kg/m ³
C 20	20	4	9.500	500	650
C 30	30	5	14.500	650	800
C 40	40	6	19.500	750	950
C 50	50	7	22000	770	970
C 60	60	8	24.500	800	1.000

¹⁾) Nota: Tabela 3 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos Como definida em 6.1.2

TABELA F.2 DA NBR 7190/97 - CLASSES DE CARREGAMENTO	
Classe de Carregamento	Ordem de Grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	---
Longa duração	mais de seis meses
Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Menos de uma semana
Instantânea	muito curta

Tabela - Valores de $K_{mod,1}$		
Classes de carregamento	Tipos de Madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
Permanente	0,60	0,30
Longa Duração	0,70	0,45
Média Duração	0,80	0,65
Curta Duração	0,90	0,90
Instantânea	1,10	1,10

Nota: Tabela 4 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

Tabela - Valores de $K_{mod,2}$		
Classes de umidade	Tipos de Madeira	
	Madeira serrada Madeira laminada colada Madeira compensada	Madeira recomposta
1	1,00	1,00
2	0,90	0,95
3	0,80	0,90
4	0,75	0,85

No caso particular de madeira serrada submersa, admite-se $K_{mod,2} = 0,65$
Nota: Tabela 5 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

Classificação das peças estruturais:

-Classe Estrutural.Especial (SE); Classe Estr. nº 1 (S1); Classe Estr. nº 2 (S2); Classe Estrutural nº 3 (S3)

Tabela - Valores de $K_{mod,3}$ para coníferas				
Classificação	Classe	$K_{mod,3}$		
		(visual + flexão estática)	(visual + vibração transversal)	(visual + ultra-som)
Densas (D)	SE-D	1,00	0,90	0,85
	S1-D	0,95	0,85	0,80
	S2-D	0,90	0,80	0,75
	S3-D	0,85	0,75	0,70
Não Densas (ND)	SE-ND	1,00	0,85	0,80
	S1-ND	0,95	0,80	0,75
	S2-ND	0,90	0,75	0,70
	S3-ND	0,85	0,70	0,65

Nota: Tabela 6 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

Tabela - Valores de $K_{mod,3}$ para folhosas			
Classe	$K_{mod,3}$		
	(visual + flexão estática)	(visual + vibração transversal)	(visual + ultra-som)
SE	1,00	0,95	0,90
S1	0,95	0,90	0,85
S2	0,90	0,85	0,80
S3	0,85	0,80	0,75

Nota: Tabela 7 transcrita da NBR 7190/2010 com fins didáticos.

Tabela - Valores de $K_{mod,3}$ para madeiras não classificadas		
Madeira	Classificação	$K_{mod,3}$
folhosa	Não classificada	0,70
conífera	Não classificada	0,60

Segundo item 5.4.4.3 da NBR 7190/2010

TABELA - VALORES DE α_n	
Extensão da carga normal às fibras, medida paralelamente a estas (cm)	α_n
1	2,00
2	1,70
3	1,55
4	1,40
5	1,30
7,5	1,15
10	1,10
15	1,00

TABELA - VALORES DE α_e						
Diâmetro do pino: Cm	$\leq 0,62$	0,95	1,25	1,6	1,9	2,2
Coefficiente α_e	2,5	1,95	1,68	1,52	1,41	1,33
Diâmetro do pino: Cm	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	$\geq 7,5$
Coefficiente α_e	1,27	1,19	1,14	1,1	1,07	1,0

TABELA E.3 - Transcrita da NBR 7190/97 com fins didáticos									
Valores Médios de madeiras coníferas nativas e de reflorestamento									
U= 12%									
	Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap}(12\%)$ ¹⁾	f_{c0} ²⁾	f_{t0} ³⁾	f_{t90} ⁴⁾	f_v ⁵⁾	E_{c0} ⁶⁾	⁷⁾
			kg/m ³	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	n
TABELA E.3	Pinho do Paraná	Araucaria angustifolia	580	40,9	93,1	1,6	8,8	15225	15
	Pinus caribea	Pinus caribea var. caribea	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8341	28
	Pinus bahamensis	Pinus caribea var. bahamensis	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7110	32
	Pinus hondurensis	Pinus caribea var. hondurensis	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9868	99
	Pinus elliottii	Pinus elliottii var. elliottii	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889	21
	Pinus oocarpa	Pinus oocarpa shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10904	71
	Pinus taeda	Pinus taeda L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304	15

TABELAS E.1 e E.2 - Transcritas da NBR 7190/97 com fins didáticos
Valores Médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de reflorestamento - U= 12%

	Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}^{1)}$ kg/m ³	$f_{c0}^{2)}$ MPa	$f_{t0}^{3)}$ MPa	$f_{t90}^{4)}$ MPa	$f_v^{5)}$ MPa	$E_{c0}^{6)}$ MPa	⁷⁾ n	
TABELA E.1	Angelim araroba	Vataireopsis araroba	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876	15	
	Angelim ferro	Hymenolobium spp	1.170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827	20	
	Angelim pedra	Hymenolobium petraeum	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912	39	
	Angelim pedra verdade	Dinizia excelsa	1.170	76,7	104,9	4,8	11,3	16694	12	
	Branquilho	Termilalia spp	803	48,1	87,9	3,2	9,8	13481	10	
	Cacearana	Andira spp	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14098	11	
	Canafístula	Cassia ferruginea	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14613	12	
	Casca grossa	Vochysia spp	801	56,0	120,2	4,1	8,2	16224	31	
	Castelo	Gossypiospermum praecox	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11105	12	
	Cedro amargo	Cedrella odorata	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839	21	
	Cedro doce	Cedrella spp	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058	10	
	Champagne	Dipterys odorata	1.090	93,2	133,5	2,9	10,7	23002	12	
	Cupiúba	Goupia glabra	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13627	33	
	Catiúba	Qualea paraensis	1.221	83,8	86,2	3,3	11,1	19426	13	
	Eucalipto Alba	Eucalyptus alba	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13409	24	
	E. Camaldulensis	Eucalyptus camaldulensis	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13286	18	
	E. Citriodora	Eucalyptus citriodora	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18421	68	
	E. Cloeziana	Eucalyptus cloeziana	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13963	21	
	E. Dunni	Eucalyptus dunnii	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029	15	
	E. Grandis	Eucalyptus grandis	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12813	103	
	E. Maculata	Eucalyptus maculata	931	63,5	115,6	4,1	10,6	18099	53	
	E. Maidene	Eucalyptus maidene	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14431	10	
	E. Microcorys	Eucalyptus microcorys	929	54,9	118,6	4,5	10,3	16782	31	
	E. Paniculata	Eucalyptus paniculata	1.087	72,7	147,4	4,7	12,4	19881	29	
	E. Propinqua	Eucalyptus propinqua	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15561	63	
	E. Punctata	Eucalyptus punctata	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19360	70	
	TABELA E.2	E. Saligna	Eucalyptus saligna	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14933	67
		E. Tereticornis	Eucalyptus tereticornis	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17198	29
E. Triantha		Eucalyptus triantha	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14617	08	
E. Umbra		Eucalyptus umbra	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14577	08	
E. Urophylla		Eucalyptus urophylla	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13166	86	
Garapa Roraima		Apuleia leiocarpa	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18359	12	
Guaiçara		Luetzelburgia spp	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14624	11	
Guaruaia		Peltophorum vogelianum	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17212	13	
Ipê		Tabebuia serratifolia	1.068	76,0	96,8	3,1	3,1	18011	22	
Jatobá		Hymenaea spp	1.074	93,3	157,5	3,2	15,7	23607	20	
Louro preto		Ocotea spp	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14185	24	
Maçaranduba		Manikara spp	1.143	82,9	138,5	5,4	14,9	22733	12	
Mandioqueira		Qualea spp	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18971	16	
Oiticica amarela		Clarisia racemosa	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14719	12	
Quarubarana		Erismia uncinatum	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9067	11	
Sucupira		Diploptropis spp	1.106	95,2	123,4	3,4	11,8	21724	12	
Tatajuba		Bagassa guianensis	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19583	10	

¹⁾ $\rho_{ap(12\%)}$ é a massa específica aparente a 12% de umidade.

²⁾ f_{c0} é a resistência à compressão paralela às fibras.

³⁾ f_{t0} é a resistência à tração paralela às fibras.

⁴⁾ f_{t90} é a resistência à tração normal às fibras.

⁵⁾ f_v é a resistência ao cisalhamento.

⁶⁾ E_{c0} é o módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

⁷⁾ n é o número de corpos de prova ensaiados

Notas

1) Coeficiente de variação para resistências a solicitações normais $\delta = 18\%$

2) Coeficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais $\delta = 28\%$

Valores médios das características das madeiras, segundo o IPT.

Tabela do livro Estruturas de Madeira – Walter Pfeil.- publicada com fins didáticos

TABELA 3.2. Características Mecânicas de Madeiras Brasileiras

N.º de Ordem	NOMENCLATURA	Compressão axial		Flexão estática		Módulo de elasticidade E_{90} kgf/cm ² — Madeira verde				Choque (Madeira seca ao ar)			Cisalhamento	Dureza Janka	Tratado normal das fibras	Resistência	
		Limite de resistência, kgf/cm ²	Coeficiente de influência da umidade %	Limite de resistência, kgf/cm ²		Limite proporc.	Módulo	Flexão	Limite proporc.	Trabalho absorvido W kg X m	Coef. de resistência	Cola dinâmica					R/D ³
				Madeira verde	Madeira 15% de umidade												
1	Arveiro-do-ortão	752	1,4	1 521	1 762	540	187 000	773	5,94	0,07	0,65	202	1 209	116	11,6		
2	Angico-preto	713	2,5	1 500	1 800	560	207 100	729	7,80	1,25	1,18	198	1 175	139	16,0		
3	Eucalyptus	521	4,7	1 140	1 238	344	161 800	481	4,62	0,73	0,69	186	893	103	12,0		
4	Ipê-tabaco	618	3,3	1 460	1 620	381	178 500	527	9,70	1,52	1,55	134	1 060	103	10,6		
5	Jatobá	695	4,3	1 531	1 803	546	205 000	672	4,07	0,64	0,61	206	1 330	135	17,1		
6	Coração-de-negro	515	3,0	1 108	1 192	351	122 100	406	2,51	0,40	0,40	156	1 185	109	12,4		
7	Cabriúva-vermelha	670	2,8	1 460	1 613	493	169 600	607	7,23	1,13	1,18	193	1 095	124	17,1		
8	Guaraná	629	4,6	1 452	1 693	431	202 500	606	6,53	1,05	1,20	191	1 027	128	16,4		
9	Faveiro	677	3,1	1 250	1 324	459	176 100	498	3,21	0,51	0,59	149	1 099	112	12,2		
10	Sucupira-parda	710	4,1	1 272	1 447	510	206 600	487	4,43	0,70	0,81	127	867	90	10,3		
11	Guariá	629	3,2	1 209	1 385	363	171 100	571	2,60	0,41	0,48	189	864	101	10,4		
12	Jacarandá	446	6,34	1 098	1 345	292	143 200	407	2,64	0,45	0,66	141	869	122	13,1		
13	Fau-roxo	653	4,0	1 477	1 881	500	209 700	648	6,95	1,10	1,38	152	902	85	11,3		
14	Pau-marfim	440	4,3	1 090	1 410	260	144 600	409	8,70	1,37	1,81	140	790	100	12,4		
15	Peroba-rosa	440	3,8	990	1 090	305	146 000	412	2,60	0,41	0,68	130	810	83	9,6		
16	Canela-azul	641	5,4	973	1 418	311	169 000	412	4,18	0,68	0,99	130	635	106	11,1		
17	Sapucaia-branca	454	3,0	1 072	1 235	375	144 700	415	4,57	0,72	1,22	127	719	102	12,8		
18	Peroba-de-campos	465	2,9	990	1 193	395	139 000	445	3,30	0,52	1,00	117	643	69	8,3		
19	Canela-parda	471	3,3	933	1 228	356	134 100	410	2,60	0,41	0,77	123	641	83	9,0		
20	Jacaré	372	4,3	845	1 012	250	103 800	350	4,20	0,68	1,20	136	641	101	11,1		
21	Pau-d'alho	314	4,2	704	848	245	115 000	320	1,60	0,25	0,56	73	445	40	6,1		
22	Apita-caval	312	4,1	687	912	217	85 000	266	3,29	0,62	1,20	106	477	57	7,1		
23	Imbuia	326	4,8	784	934	235	90 000	290	2,10	0,34	0,80	98	436	68	7,8		
24	Canela-vormelha	300	2,6	635	836	225	92 900	276	2,43	0,39	0,90	91	344	79	6,0		
25	Pinho-brasileiro	305	5,0	709	1 008	219	139 100	295	1,56	0,25	0,57	73	332	40	4,7		
26	Freijó	373	3,2	815	955	285	149 200	351	2,80	0,44	1,12	85	401	43	5,6		
27	Carvalho-brasileiro	257	0,1	667	1 001	181	138 300	244	3,68	0,57	1,19	75	381	95	10,0		
28	Cedro	280	4,3	637	903	217	104 400	255	2,00	0,32	0,80	77	300	55	6,3		
29	Caroba	200	5,0	459	658	130	64 200	203	1,36	0,19	0,58	78	342	66	6,9		
30	Jequitibá-rosa	334	2,3	720	929	260	108 500	343	2,14	0,34	1,11	88	413	63	6,1		
31	Figueira	274	4,6	601	833	182	110 200	250	2,18	0,35	1,04	74	370	50	5,7		
32	Noqueira-do-iguapo	121	2,9	327	409	90	32 700	138	0,90	0,14	0,69	57	264	56	5,4		
33	Caxeta	198	5,0	442	555	148	71 000	194	0,94	0,16	0,97	50	190	30	4,7		
34	Paineira	113	1,3	205	305	107	50 200	135	1,10	0,18	1,43	37	163	37	4,1		

OBSERVAÇÕES:

1. As espécies foram dispostas da tabela em ordem decrescente de peso específico.
2. As colunas de resultado em que não vem especificado o teor de umidade, referem-se à madeira verde.
3. Os nomes das madeiras que figuram nesta tabela são os "nomes comerciais" preferidos pelo IPT.
4. Esta tabela se baseia em dados publicados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo.