

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

LIGAÇÃO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE
MADEIRA POR ANÉIS METÁLICOS

ENGº JOSÉ ANTONIO MATTHIESEN

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA DE ENGENHARIA DE
SÃO CARLOS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, PARA OBTEN
ÇÃO DO TÍTULO DE "MESTRE EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS"



COMISSÃO EXAMINADORA:

PROF. DR. JOÃO CESAR HELLMEISTER - ORIENTADOR (EESC - USP)

PROF. Dr. ALUIZIO FONTANA MARGARIDO - (EPUSP)

PROF. Dr. JOSÉ ELIAS LAIER - (EESC - USP)

SÃO CARLOS 1981

Aos meus pais

Antônio e Lourdes

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. João Cesar Hellmeister, pela orientação cuidadosa ministrada durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, pela amizade e valioso auxílio prestado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa (CNPq) pelo auxílio financeiro prestado através das bolsas de Mestrado para realização desse trabalho.

Aos colegas de pós-graduação pela colaboração e insentivo recebido.

Aos meus pais Antônio e Lourdes pela compreensão e carinho nos momentos mais difíceis.

R E S U M O

A utilização de peças de ligação é um dos problemas críticos no emprego das estruturas de madeira.

O anel de aço, já é bastante conhecido em muitos países, como excelente conector. No Brasil ele é quase desconhecido e provavelmente nunca foi usado no passado.

Neste estudo são apresentados: uma revisão da bibliografia disponível, uma aproximação teórica do problema e um bom trabalho experimental.

Os resultados obtidos, constituem a evidência necessária e suficiente da eficiência e da validade dos anéis desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, cortados de canos de aço galvanizados.

Estes anéis podem ser usados em quase todos os tipos de estruturas de madeira.

O uso de anéis de grande diâmetros, tornou excelentes vigas bicirculares.

A B S T R A C T

The utilization of connectors is one of the critical problems, dealing with wooden structures.

The steel ring is already well known in many countries as an excellent connector. In Brasil it is almost unknown and probably never was used in the past.

In this study are presented: a review of the available literature, a theoretical approach to the problem, and a good experimental work.

The results obtained are the necessary and sufficient evidence of the efficiency and validity of the ring developed at the Laboratory of Wood and Wooden Structures, cut from galvanized steel tubes.

These rings can be used in almost all kinds of wooden structures.

The application of large rings made feasible excellent bicircular beams, composite of two poles.

S U M Á R I O

	pg.
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 - Anéis Fechados.....	4
2.1.1 - Anéis Appel.....	4
2.1.2 - Anéis Christoph Unimack	8
2.1.3 - Anéis Schulz	11
2.1.4 - Anéis Karl KÜbler.....	12
2.1.5 - Anéis Dentados Alligator.....	14
2.1.6 - Anéis Moles.....	17
2.2 - Anéis Abertos.....	17
2.2.1 - Anel Aberto Locher.....	19
2.2.2 - Anel Aberto Tuchscheres.....	20
2.2.3 - Anel Aberto Hess.....	22
2.2.4 - Anel Aberto Schüller.....	22
2.2.5 - Anéis Metálicos Abertos Segundo Hansen.....	23
2.2.6 - Anéis Metálicos Abertos - Vários Autores.....	37
3 - ANÉIS METÁLICOS DESENVOLVIDOS NO LaMEM.....	51
3.1 - Introdução.....	51
3.2 - Tipos de Anéis Metálicos do LaMEM.....	52
3.2.1 - Anéis Fechados.....	53
3.2.2 - Anéis Partidos.....	53
3.2.3 - Anéis Bipartidos.....	54
3.3 - Função do Parafuso.....	54
3.4 - Cisalhamento e Compressão Paralela.....	55
3.4.1 - Área de Cisalhamento por Anel.....	56
3.4.2 - Área de Compressão por Anel.....	57
3.4.3 - Área de Tração por Anel.....	57
3.4.4 - Dimensões e Capacidade de Carga dos Anéis Metálicos..	58
3.4.5 - Altura Máxima do Anel.....	60
3.5 - Encaixe do Anel.....	60
3.6 - Fatores que Influem na Capacidade de Carga dos Anéis..	65
3.6.1 - Influência da Umidade.....	65
3.6.2 - Influência da Densidade.....	65
3.6.3 - Influência da Aplicação da Carga.....	66

	pg.
3.7 - Descrição dos Ensaios dos Corpos de Prova.....	67
3.8 - Seleção da Madeira.....	69
3.9 - Ligação de Compressão.....	71
3.9.1 - Anéis de 3" de Diâmetro.....	71
3.9.2 - Anéis de 4" de Diâmetro.....	77
3.9.3 - Anéis de 5" de Diâmetro.....	79
3.9.4 - Distância às Bordas.....	83
3.9.5 - Influência da Umidade na Capacidade de Carga dos Anéis.....	86
3.9.6 - Anéis Fechados, Partidos e Bipartidos.....	88
3.10 - Ligação de Tração.....	94
3.10.1 - Anéis de 3" de Diâmetro.....	95
3.10.2 - Anéis de 4" de Diâmetro.....	100
3.10.3 - Anéis de 5" de Diâmetro.....	103
3.11 - Ângulo entre a Direção dos Esforços e a Direção das Fibras.....	111
3.11.1 - Anéis de 3" de Diâmetro.....	111
3.11.2 - Anéis de 4" de Diâmetro.....	112
3.11.3 - Anéis de 5" de Diâmetro.....	113
3.12 - Anéis de 3, 4 e 5 Polegadas, Utilizando outras Espe - cies de Madeira.....	117
3.12.1 - Pinho do Paraná.....	117
3.12.2 - Eucalipto Citriodora.....	118
4 - CONCLUSÃO.....	122
4.1 - Capacidade Admissível de Carga nos Anéis de 3", 4" e 5".....	122
4.2 - Capacidade Admissível de Carga nos Anéis de 6", 7" e 8".....	123
4.3 - Capacidade de Carga nos Anéis Fechados.....	124
4.4 - Capacidade de Carga dos Anéis Submetidos a Esforços em Ângulo com a Direção das Fibras.....	124
4.5 - Dois ou mais Anéis por Ligação.....	127
4.6 - Distâncias Recomendadas.....	127
4.6.1 - Ligações de Compressão.....	127
4.6.2 - Ligações de Tração.....	128

	pg.
5 - APLICAÇÕES DOS ANÉIS METÁLICOS.....	129
5.1 - Estruturas em Treliça.....	129
5.2 - Cobrejuntas de Aço.....	129
5.3 - Vigas Bicirculares.....	130
5.3.1 - Montagem das Vigas Bicirculares.....	130
5.3.2 - Anéis Metálicos para Ligação de Postes Circulares de Diâmetros Decrescentes.....	132
5.3.3 - Altura do Anel para Peças Circulares de Diâmetros Decrescentes.....	134
5.3.4 - Pontes de Postes de Madeira.....	136

1 - INTRODUÇÃO

A madeira, tratada como elemento estrutural, já provou ser dos materiais mais econômicos e eficientes na construção geral, mas, devido à escassez de conhecimentos e a insuficiente divulgação do pouco que se conhece, frequentemente não é aproveitada de maneira racional, principalmente no Brasil.

Apesar de ser material resistente, leve e de fácil trabalhabilidade, seu emprego em estruturas depende essencialmente da eficiência das ligações entre as diversas peças que as constituem, tornando-se necessário o desenvolvimento de novas técnicas de ligação das peças estruturais de madeira, visando à melhor utilização das suas características de resistência.

Em países mais desenvolvidos, a pesquisa de novos meios de ligação deu como resultado a utilização de dispositivos metálicos que aumentam consideravelmente a eficiência das ligações. Talvez a nenhum outro fato se deva tanto a revolução sofrida em projetos de estruturas de madeira, como ao desenvolvimento dos dispositivos metálicos modernos.

Os resultados de ensaios sobre muitos tipos de dispositivos metálicos foram dados a conhecer nos E.E.U.U., pela primeira vez, em 1933, por Nelson S. Perkins, Peter Landsem e G.W. Trayer (01). Estes ensaios formaram a base para determinar esforços admissíveis na ligação de peças de madeira por dispositivos metálicos.

Tanto na América do Norte, como na Europa, é bastante difundida e empregada a técnica da ligação das peças estruturais de madeira por meio de anéis metálicos, com resultados eficientes mesmo para grandes esforços solicitantes, enquanto no Brasil seu estudo ainda é muito recente.

Em 1934, a Timber Engineering Company de Washington, D.C., subsidiária da National Lumber Manufacturer's Association (02) adquiriu os direitos da patente relativos a certo número des-

(01) - Apud. HANSEN, Howard J. - *Diseño Moderno de Estructuras de Madera.* México, Compañía Editorial Continental S.A., 1961. p. 129.

(02) - *Op. cit.* 129.

tes dispositivos, a fim de distribuí-los em base comercial. Desde então, muitos ensaios adicionais e refinamentos na fabricação vem sendo desenvolvidos.

Geralmente os anéis são utilizados para juntas estruturais de treliças de telhados e outras estruturas, como: pontes, arcos, colunas, vigas e prẽ-fabricados.

Neste trabalho ẽ apresentada uma ampla revisãõ bibliogrãfica e adequada experimentaçãõ com madeiras nacionais e com um anel brasileiro para ligaçãõ estrutural.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os anéis metálicos, em geral, são fabricados à base de aço carbono, aço temperado, ferro fundido ou uma liga de metal leve (Al, Si).

Mais de 60 tipos são patenteados nos E.E.U.U., Europa e Rússia, apresentando uma larga variedade de características, podendo ser fechados ou abertos, lisos ou com ranhuras.

O anel é encaixado em cada uma das faces das peças de madeira, adjacentes, em um sulco previamente aberto utilizando-se ferramentas especiais. Este sulco deve ter espessura igual ou no máximo 0,5 mm maior que a espessura do anel, para um perfeito ajustamento do mesmo com as peças a serem ligadas, evitando-se assim um eventual jogo que poderá influir na rigidez da união.

Além de resistência a elevadas cargas, o anel apresenta a relevante vantagem de permitir a reunião de mais elementos concorrentes em um ponto, como por exemplo em um nó de treliça, com o emprego de um único parafuso de diâmetro pequeno.

Giordano (03) apresenta de maneira interessante vários tipos de anéis metálicos para ligação de peças estruturais de madeira.

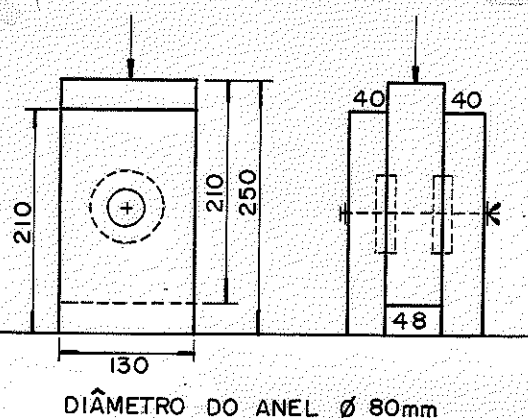


Fig. 01 - Giordano - Op. cit. p 365

(03) - GIORDANO, Guglielmo - *La Moderna Técnica Delle Costruzioni in Legno*. Milano: Ulrico Hoepli, 1964. 798 p.

A figura nº 01 contém a idéia básica mais aceita para o ensaio de anéis em ligação de peças sujeitas à compressão paralela às fibras.

2.1 - Aneis Fechados

Segundo Giordano o cálculo da carga suportada pelo anel é feito através da resistência do núcleo da madeira circundada pelo anel ou da resistência da parte externa que o circunda, pois pressupõe que não seja possível haver uma participação simultânea de ambas.

Usa-se geralmente a altura h do anel igual a $2/5$ de seu diâmetro ϕ externo $h = \frac{2\phi}{5}$, e considera-se no cálculo somente a sua parte externa. O anel age através da metade da altura por elemento e a carga admissível paralela às fibras, será expressa por:

$$P = \frac{h}{2} \cdot \phi \cdot \sigma_{pf} = \frac{\sigma_{pf} \phi^2}{5} \quad (04)$$

Por ser um material lenhoso, pode-se assumir $\sigma_{pf} = 85$ kg/cm², tensão de compressão paralela às fibras, tem-se $P = 17 \phi^2$.

Na direção perpendicular às fibras pode-se assumir a metade deste valor:

$$P = 8,5 \phi^2 \quad \rightarrow \quad \text{Obs: } P \text{ dado em kg.}$$

nas direções intermediárias pode-se introduzir um valor tirado da variação linear entre os dois extremos indicados (04).

2.1.1 - Aneis Appel

Os anéis usuais apresentam seção transversal praticamente retangular.

Giordano (05) refere-se entretanto aos anéis da "Casa Appel", com seção hexagonal, rombóide, oval e de segmento circular. Antigamente usava-se ferro fundido ou aço; hoje, prefere-se uma liga de metal leve (Al, Si), com a vantagem de ser resistente à corrosão.

(04) - Id., Ibid, p. 343

(05) - Op. cit. p. 343

A casa Appel patenteou alguns anéis apresentados nas figuras nº 02a e 02b.

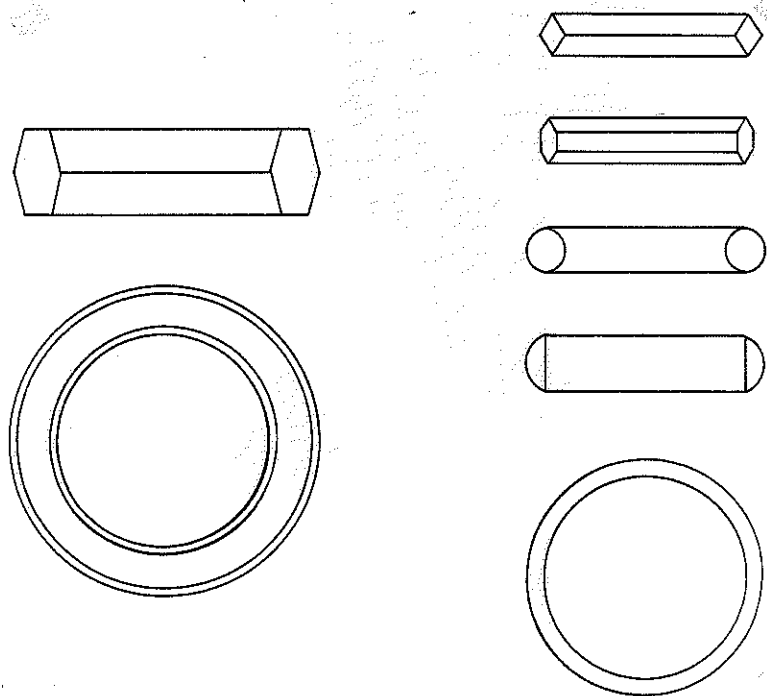


Fig. 02a - Anel Appel Simples

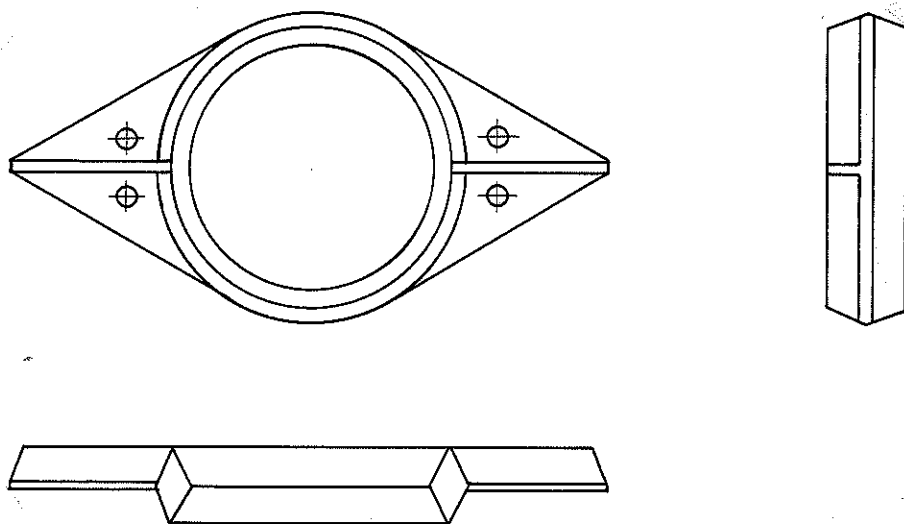


Fig. 02b - Anel Appel com Asas

Na tabela nº 1 são apresentados elementos característicos dos anéis Appel segundo Giordano.

Na tabela nº 2 são apresentados elementos característicos dos anéis Appel, segundo Hempel.

TABELA nº 1 - Anéis Appel, segundo Giordano (06)

N u m e r o	0	1	2	3	3 ^a	4	5	6
Diâmetro maior do anel ϕ - mm	65	80	95	126	128	160	190	230
Diâmetro maior do anel ϕ - mm	55	68	83	114	112	140	170	208
Altura e espessura do anel - mm	30/5	30/6	30/6	30/6	45/8	45/10	45/10	45/10
Enfraquecimento da seção cm ²	5	8	9	11	13	15	18	20
Parafuso - diâmetro δ - mm	13	15	18	20	20	22	24	24
Arruela quadrada, lado e espessura mm	50/4	50/5	50/5	60/6	60/6	70/7	80/8	90/8
Dimensão mínima dos elementos a ligar:								
Distância do centro do anel à borda solicitada - cm	10	12	15	19	20	24	29	34
Distância de centro a centro dos anéis - cm	15	19	20	27	27	32	40	64
Largura perpendicular ao parafuso - cm,.....	10	10	12	16	16	20	24	28
Espessura da peça central - cm	6	6	6	8	8	8	10	10
Espessura das peças laterais - cm	4	5	5	5	6	6	8	8
Carga admissível por par de anéis:								
Anéis simples paralelo às fibras - kg.....	2700	4000	4800	5800	6400	9000	11000	12000
Anéis simples perpendicular às fibras - kg.....	2300	2500	3200	3800	4400	5400	6600	7800
Peso dos anéis:								
Anéis simples em aço g	175	215	270	385	700	1080	1410	2250
Anéis simples em material leve g	70	90	100	140	270	390	500	-

TABELA nº 2 - Anéis Appel, segundo G. Hempel (07)

Dimensões dos Anéis		Diâmetro do Parafuso Pol	Diâmetro e Espessura das Arruelas mm	Menores dimensões da madeira cm		Menor Distância entre Anéis cm	Carga admissível nos Anéis em kg, por anel, Inclinação das forças em relação às fibras					
Diâmetro Externo ϕ mm	Altura h mm			Espessura e mm	uma fila de anéis		>30-90°	0 - 30°	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	> 30 até 60°
65	30	5	58/6	10/6	11/6	14	1150	1050	900	1000	900	
80	30	6	58/6	11/6	13/6	18	1400	1250	1100	1250	1100	
95	30	6	58/6	12/6	15/6	22	1700	1550	1350	1450	1250	
126	30	6	58/6	16/6	20/6	25	2000	1800	1600	1700	1400	
128	45	8	58/6	16/6	20/6	30	2800	2500	2250	2350	1900	
160	45	10	68/6	20/10	24/10	34	3400	3050	2700	2750	2150	
190	45	10	68/6	23/10	28/10	43	4800	4300	3850	3850	2900	

(07) - HEMPEL, G., - Freigespannte Holzbeinder, 6 ed. Karlsruhe, Bruderverlag, 1959, p. 130.

2.1.2 - Anéis Christoph Unmack

São anéis fechados, de aço temperado, com seção Γ ou \sqcup de diâmetro variável, entre 8 e 32,5 cm, e por isso com grande possibilidade de escolha em relação às cargas solicitantes. O tipo Γ tende a variar e por isso é necessário que a ação do parafuso central seja eficaz.

O anel tipo \sqcup , é mais estável, além de apresentar a vantagem de ligar peças de tamanhos diferentes. Neste caso a parte de maior diâmetro do anel é encaixada na peça maior.

A carga admissível será tomada em relação ao menor valor entre os dois, o que se obtém considerando o diâmetro menor com esforços paralelos às fibras, o diâmetro maior com esforços na direção inclinada às fibras fig. nº 03.

Os diâmetros mais comumente usado do tipo \sqcup são:

8/12 - 10/14 - 12/16 cm

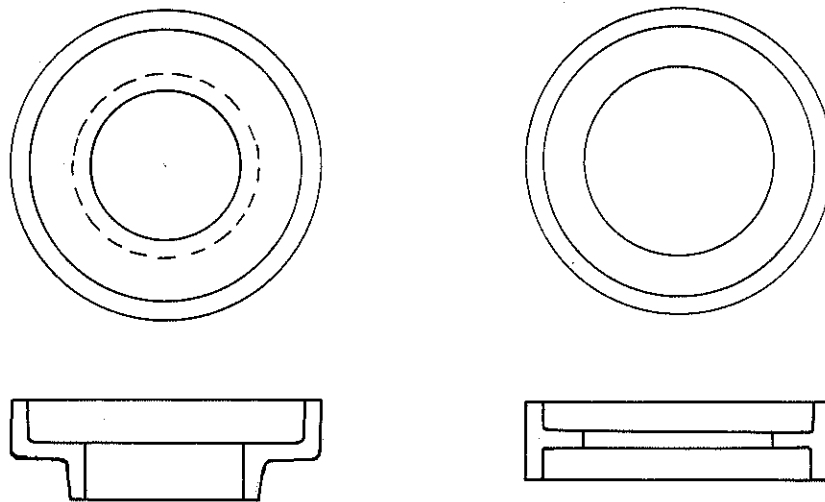


Fig. 03 - Anéis Christoph Unmack (Giordano *Op. Cit.* p 342)

Os anéis Christoph e Unmack, são apresentados também por Hempel. Ver tabela nº 4.

TABELA nº 3 - Anéis Christoph e Ummack, segundo Giordano (08)

Diâmetro externo - mm	80	100	120	140	160	180	200	225	250	275	300	325
Diâmetro interno - mm	70	90	110	129	148	168	186	211	234	259	280	305
Enfraquecimento da seção - cm ²	7	9,4	12	15,5	19,5	23,1	28,9	33,5	41	46,1	58	64
Parafuso: diâmetro - mm.....	13	13	13	13	13	13	16	16	16	16	20	20
Arruela quadrada - mm	45/5	50/6	55/6	60/7	60/7	65/8	70/8	75/9	80/9	85/10	90/11	100/11
Dimensão mínima das peças a ligar:												
Distância do centro do anel à borda mais solicitada - cm	12	15	18	21	25	28	31	33	40	44	50	54
Largura da peça na direção perpendicular ao parafuso - cm	11	13	16	18	21	24	26	30	33	37	40	44
Carga admissível em kg por anel:												
Direção paralela às fibras	1600	2035	2535	3130	3810	4575	5425	6485	7655	8930	10310	11800
Direção perpendicular às fibras	625	957	1361	1863	2340	2950	3590	4437	5323	6338	7337	8518

TABELA nº 4 - Anéis Christoph e Unmack, segundo Hempel (09)

Dimensões dos Anéis		φ do Parafuso "pol"	Arruela Diâmetro e Espessura mm	Menores dimensões da madeira em cm uma fila de anéis		Menor Distância entre Anéis cm uma fila	Carga admissível nos Anéis em kg, Inclinação das forças em relação às fibras				
Diâmetro Externo φ mm	Altura do anel h mm			Espe- ssa- ra mm	0 - 30°		30° - 90°	0 - 30°	30° - 60°	60° - 90°	
60	20	1/2	58/6	9/6	11/6	16	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	> 30° até 60°	> 60° até 90°
80	25	1/2	58/6	11/6	13/6	21	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	1 ou + anéis	1 ou + anéis
100	30	1/2	58/6	13/6	16/6	24	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	1 ou + anéis	1 ou + anéis
120	35	1/2	58/6	16/6	19/6	27	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	1 ou + anéis	1 ou + anéis
1) 140	40	1/2	58/6	18/6	22/6	33	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	1 ou + anéis	1 ou + anéis
1) 160	45	5/8	68/6	20/10	24/10	37	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	1 ou + anéis	1 ou + anéis
2) 180	50	5/8	68/6	22/10	25/10	45	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	1 ou + anéis	1 ou + anéis
2) 200	55	5/8	68/6	24/10	29/10	48	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	1 ou + anéis	1 ou + anéis

(09) - HEMPEL, G., Op. cit. p. 130

2.1.3 - Anéis Schulz

São feitos de duas peças circulares de lâminas de aço estampado, de modo a constituir cada uma um anel que se ajusta em sulco frizado no elemento a ligar. Os dois anéis podem ter diâmetros iguais, neste caso as duas peças, constituem as duas metades de um único anel, com seção romboidal. Este tipo serve para ligação dos elementos na madeira tendo as fibras na mesma direção, pois cada anel é capaz de transmitir o mesmo esforço. O anel constituído por duas peças com diâmetros diferentes serve para ligação de elementos com as fibras nas direções inclinadas. No elemento, solicitado ao longo das fibras, será assentado o anel de pequeno diâmetro e no elemento solicitado obliquamente o anel de maior diâmetro fig. nº 04 (10).

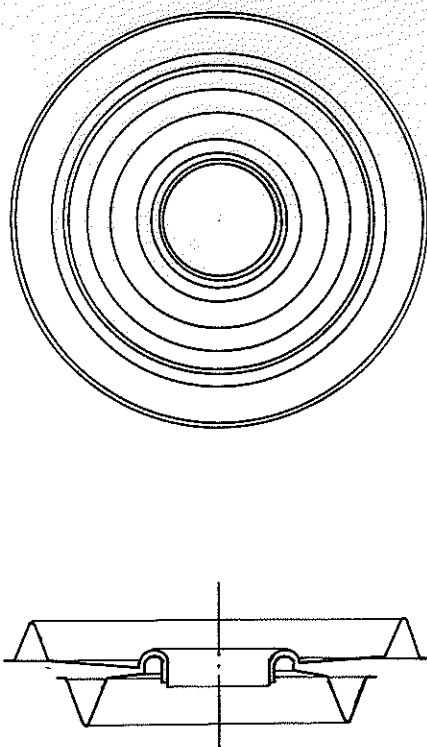


Fig. 04 - Anel Schulz

(10) - GIORDANO, G., Op. cit., p. 346.

TABELA nº 5 - Anéis Schulz, segundo Giordano (11)

Diâmetro externo - mm	80	100	120	140	160
Altura de um anel - mm	11	13	15	17	20
Parafuso: Diâmetro - mm	13	16	20	20	20
Redução da seção - cm ²	13,4	19	26	34,2	46,8
Carga admissível, paralela às fibras - kg	3150	4350	6100	8200	10400
Carga admissível, perpendicular às fibras - kg	1575	2175	3050	4100	5200

2.1.4 - Anéis Karl Kübler

São anéis circulares de seção transversal triangular fig. nº 05 (12).

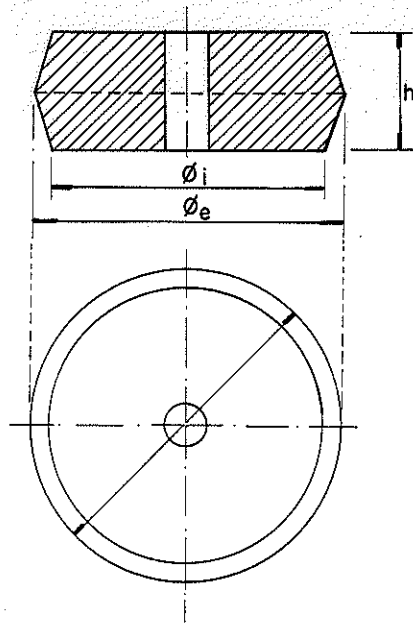


Fig. 05 - Anel Karl Kübler

(11) - GIRDANO, G., Op. cit. p. 347.

(12) - HEMPEL, G., Op. cit. p. 129

TABELA nº 6 - Anéis Karl Kübler, segundo G. Hempel (13).

Dimensões dos Anéis		Diâmetro do Parafuso	Diâmetro e Espessura das Arruelas	Menores dimensões da madeira		Menor Distância entre Anéis	Carga admissível nos Anéis em kg, por anel, Inclinação das forças em relação às fibras					
Diâmetro Externo ϕ mm	Altura do anel h mm			uma fila de anéis	uma fila de anéis		0 - 30°	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis	até 60°	> 60°
66	32	1/2	58/6	0 - 30° 9/6	>30-90° 10/6	cm 13	1100	1000	900	1 ou + anéis	até 60° 900	> 60° 1 ou + anéis 900
100	40	1/2	58/6	0 - 30° 13/6	>30-90° 10/6	cm 20	1800	1600	1555	1 ou + anéis	até 60° 1550	> 60° 1 ou + anéis 1350

(13) - HEMPEL, G., *Op. cit.* p. 130

2.1.5 - Anéis Dentados Alligator (Johnson e Solberg Oslo):

São anéis de lâmina de aço ondulada, com perfil dentado. Colocado o anel entre as peças a serem ligadas, sua penetração na madeira é feita através de aperto com aparelhos próprios. Para penetração total desses anéis na madeira é necessária uma força de 3 a 11 toneladas. Os diâmetros mais usados são de 70 a 95 mm e cada anel deve ser acompanhado de um parafuso.

A forma e a seção dos dentes dão ao anel elevada resistência ao seu dobramento.

Para cargas altas é preferível usar vários anéis pequenos.

Os anéis Alligator são zincados ou protegidos de outra maneira contra a ação de ácidos fig. n° 06 (14) e fig. n° 07 (15).

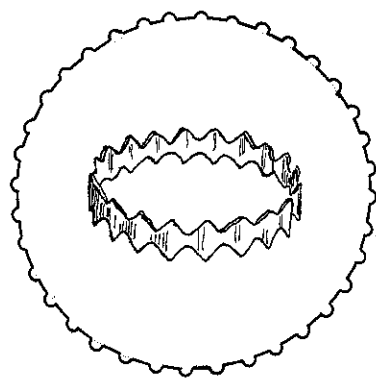


Fig. 06 - Anel Alligator segundo Giordano

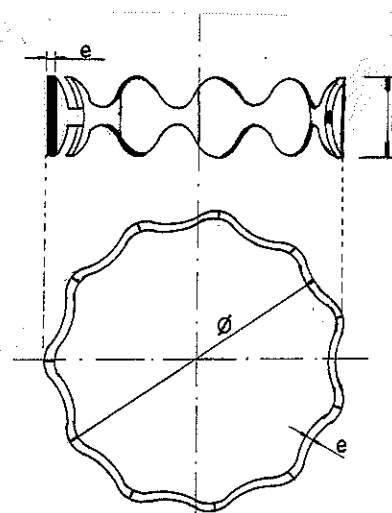


Fig. 07 - Anel Alligator Segundo Hempel

(14) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 355

(15) - HEMPEL, G., Op. cit. p. 129

TABELA nº 7 - Anéis Alligator (Johanson - Solberg-Oslo), segundo Giordano (16).

Diâmetro - mm	55	70	95	115	125	140	155
Altura dos dentes - mm	19	19	24	24	25	25	25
Diâmetro do parafuso - mm	13	16	19	19	22	22	25
Diâmetro do parafuso - pol	1/2	5/8	3/4	3/4	7/8	7/8	1
Arruela - diâmetro/espessura - mm	40/6	50/6	60/6	70/6	80/8	80/8	80/8
Distâncias do parafuso à borda - cm	7	7,5	10	11	12	14	16
Distância média entre anéis - cm	9	11	14	16	17	23	25
Peso de 100 peças - kg	1,7	2,3	4,7	5,4	6,4	7,6	8,9
Carga admissível para um anel - kg	600	800	1400	1850	2100	2730	3240
Seção mínima da madeira - cm	4 x 8	4 x 10	5 x 13	6 x 15	6 x 16	7 x 18	7 x 19

(16) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 355

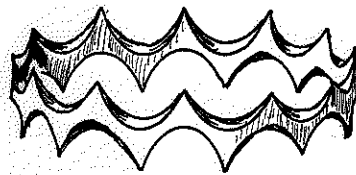
TABELA nº 8 - Anéis Alligator (Neugebener - Hamburg), segundo Hempel (17).

Dimensões do anel		Diâmetro do Parafuso "pol"	Diâmetro e Espessura das Arruelas mm	Menores dimensões da madeira cm		Menor Distância entre Anéis cm	Carga admissível nos Anéis em kg, por anel, Inclinação das forças em relação às fibras					
Diâmetro Externo ϕ em mm	Altura h em mm			Espessura e em mm	Número de dente		uma fila de anéis	>30-90°	0 - 30°	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis
55	19	1,45	11	58/6	8/6	10/6	12	600	550	500	550	550
70	19	1,45	15	68/6	10/6	12/6	14	800	700	650	750	700
95	24	1,50	17	80/8	12/6	14/6	17	1200	1100	950	1100	1000
115	24	1,50	18	92/8	15/8	18/8	20	1600	1450	1300	1450	1300
125	29	1,65	20	105/8	16/8	19/8	23	1800	1600	1450	1550	1450

(17) - HEMPEL, G., *Op. cit.*, p. 130

2.1.6 - Anéis Moles

A Casa Moles, há muito tempo constrói com sucesso, na França, ousadas estruturas de madeira, servindo-se de alguns dispositivos originais para ligação das peças de madeira. O anel Moles tem a configuração especial representada na fig. nº 08. Não foram encontradas na literatura mais detalhes a seu respeito (18).



- Fig. 08 - Anel Mole

2.2 - Anéis Abertos

São anéis nos quais se faz um corte perpendicular ao seu plano, inclinado ou de outro tipo. O corte deve ser disposto de modo que com a aplicação da carga tende a fechar o anel.

A principal vantagem dos anéis abertos é a participação tanto da madeira interna quanto da madeira externa ao anel na resistência.

A colocação dos anéis abertos é mais fácil. Mesmo quando o sulco não está perfeitamente ajustado e o anel se abre na colocação, sua adaptação a esforços de sinal contrário ocorre sem grandes deformações.

Na hipótese geral que a altura h do anel seja $h = 2\phi'/n$ sendo n um divisor constante, sendo ϕ' a média entre diâmetro interno e externo e $\bar{\sigma}_{pf}$ a tensão admissível em compressão paralela às fibras, tem-se para a capacidade \bar{P} de carga admissível por anel:

$$\bar{P} = h \cdot \phi' \cdot \bar{\sigma}_{pf} \quad \text{ou} \quad \bar{P} = \frac{2}{n} \phi'^2 \bar{\sigma}_{pf} \quad (19).$$

(18) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 359

(19) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 348

A carga admissível do anel ao cisalhamento no núcleo de madeira interno ao anel é:

$$\bar{P} = 2 \frac{\pi \phi^2}{4} \bar{\tau}$$

Igualando as duas expressões acima tem-se para o valor de n:

$$n = \frac{4 \bar{\sigma}_{pf} \phi'^2}{\pi \bar{\tau} \phi^2} \quad \text{Para } \phi' \text{ muito próximo de } \phi$$

$$n = \frac{4 \bar{\sigma}_{pf}}{\pi \bar{\tau}}$$

Será predominante a solicitação ao cisalhamento para:

$$n < \frac{4 \bar{\sigma}_{pf}}{\pi \bar{\tau}}$$

Será predominante a solicitação à compressão paralela às fibras para:

$$n > \frac{4 \bar{\sigma}_{pf}}{\pi \bar{\tau}}$$

Para $\bar{\sigma}_{pf} = 85$ e $\bar{\tau} = 9$, o segundo membro desta desigualdade tem valor 12; para $\bar{\sigma}_{pf} = 50$ e $\bar{\tau} = 7$, o segundo membro tem valor 9.

De qualquer maneira para altura do anel

$$h = \frac{2}{n} \phi = \frac{2}{5} \phi \quad \text{para } n = 5$$

é predominante a solicitação por cisalhamento e para $\bar{\tau} = 9$, a carga admissível será $\bar{P} = 14 \phi^2$ e para $\bar{\tau} = 7$ será $\bar{P} = 11 \phi^2$.

Para a solicitação paralela às fibras e $\bar{\sigma}_{pf} = 50$ tem-se:

$$\bar{P} = \frac{2}{5} \phi^2 \cdot 50 = 20 \phi^2 \quad (20) \quad \begin{array}{l} \bar{\tau} \text{ dado em kg/cm}^2 \\ \bar{\sigma}_{pf} \text{ em kg/cm}^2 \end{array}$$

Para a solicitação perpendicular às fibras tem-se:

$$\bar{P} = 10 \phi^2 \text{ kg (21)}$$

2.2.1 - Anel Aberto Locher

O anel aberto Locher apresenta corte inclinado em relação ao raio. Ao efetuar-se o sulco na madeira, adota-se um diâmetro ligeiramente superior ao do anel, para que possa ser instalado com facilidade na própria obra, fig. nº 09 (22).

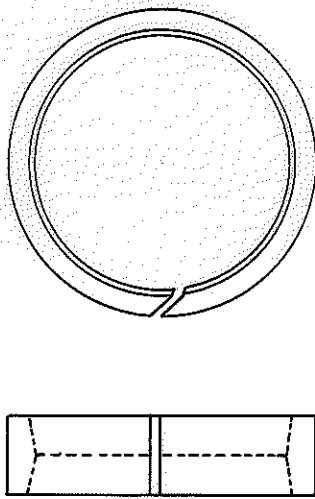


Fig. 09 - Anel Locher

Segundo pesquisa do Instituto Federal Suíço, as cargas admissíveis nos anéis Locher são apresentadas na tabela seguinte:

(21) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 349

(22) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 349

TABELA nº 9 - Anel Aberto Locher, segundo Giordano (23).

Diâmetro interno	// às fibras	⊥ às fibras
8 cm	1150 kg	750 kg
10 cm	1700 kg	1000 kg
14 cm	2800 kg	1500 kg
17 cm	3600 kg	1850 kg
20 cm	4400 kg	2200 kg

2.2.2 - Anel Aberto Tuchscherer

A abertura do anel é feita segundo uma saliência tipo macho e fêmea para evitar que o anel se deforme fora de seu plano. O diâmetro externo varia de 10 a 30 cm, a espessura do anel de 4 a 12 mm e a altura de 20 a 60 mm fig. nº 10.

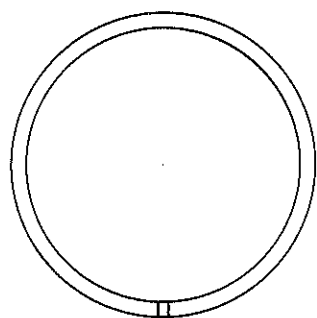
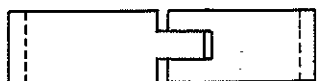


Fig. 10 - Anel Tuchscherer



Para o cálculo das cargas admissíveis tem-se:

$$\bar{P} = h \cdot \phi \cdot \bar{\sigma}_{pf}$$

Não se usa redução por solicitação não paralela às fibras. (23).

Hempel apresenta para utilização dos anéis Tuchscherer a tabela nº 10.

(23) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 350

TABELA nº 10 - Anel Aberto Tuchscherer, segundo G. Hempel (24).

Dimensões dos Anéis			φ do Parafuso	Diâmetro e Espessura das Arruelas	Menores dimensões da madeira		Menor Distância entre Anéis	Carga admissível nos Anéis em kg, Inclinação das forças em relação às fibras					
Diâmetro Externo φ	Altura do anel h	Espessura e			uma fila de anéis	cm		0 - 30°	30° > até 60°	60° > até 90°	1 a 2 anéis	3 a 4 anéis	5 a 6 anéis
mm	mm	mm	pol	mm	0 - 30°	> 30-90°	cm	uma fila	1200	1100	950	1050	950
90	20	5	1/2	58/6	12/6	14/6	13	uma fila	1200	1100	950	1050	950
110	26	5	1/2	58/6	14/6	17/6	17	uma fila	1600	1450	1300	1400	1250
130	29	5	5/8	68/6	17/6	20/6	20	uma fila	2000	1800	1600	1700	1450
1) 153	32	6,5	5/8	68/6	17/6	23/6	25	uma fila	2800	2500	2250	2350	1950
2) 173	36	6,5	5/8	68/6	21/8	25/8	30	uma fila	3800	3400	3050	3150	2500
1) 196	39	8	3/4	80/8	24/8	29/8	31	uma fila	4300	3850	3450	3500	2700
2) 216	42	8	3/4	80/8	26/8	31/8	33	uma fila	4800	4300	3850	3850	2900

(24) - HEMPEL, G., Op. cit. p. 130

2.2.3 - Anel Aberto Hess

O anel aberto Hess é provido de um corte, traçado de modo a consentir um certo jogo, mas não sua abertura completa fig. nº 11.

O diâmetro ϕ é de 54 mm, altura $h = 22$ mm e a espessura 3,5 mm, o parafuso central é de 3/8". A carga admissível para cada anel é de 320 kg. (25).

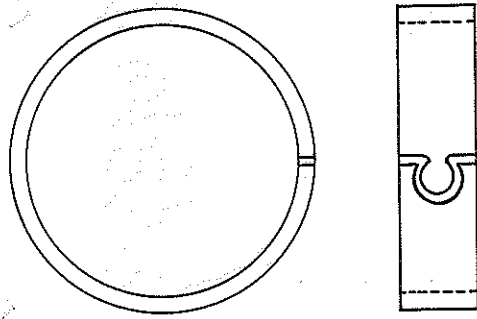


Fig. 11 - Anel Hess

2.2.4 - Anel Aberto Schüller

O anel aberto Schüller é formado por dois semi-anéis. O efeito das cargas pode ser comparado ao dos anéis Tuchscherer, mas, é mais deformável, fig. nº 12.

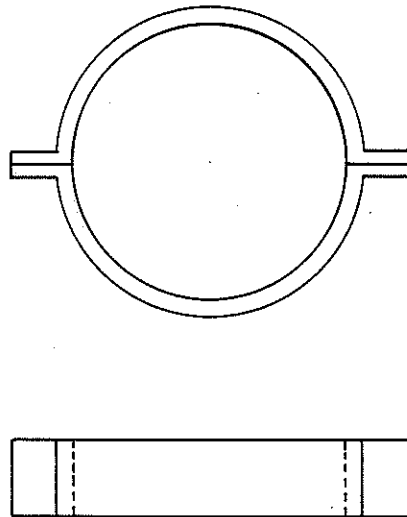


Fig. 12 - Anel Schüller

(25) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 350

(26) - GIORDANO, G., Op. cit. p. 350

2.2.5 - Anéis Metálicos Abertos Segundo Hansen

Hansen (27) em "Modern Timber Design" no ano de 1943 apresentou com bastante detalhe o uso de conectores metálicos e de modo especial o anel aberto.

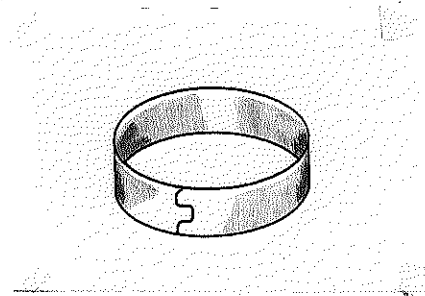


Fig. 13 - Anel Aberto

Embora este anel possa ter as mais variadas dimensões, o uso nos Estados Unidos consagrou o modelo apresentado na fig. nº 13 e na tabela 11 (28).

TABELA nº 11 - Dimensões em Anéis Abertos (28)

Anéis	Peso Kg/100	Dimensões do Anel (mm)			Dimensões do Sulco (mm)		
		Diâmetro	Altura	Espessura	Diâmetro interno	Largura	Profundidade
Anéis Abertos	13,6	63,5	19,1	4,15	6,76	4,58	9,42
	34,6	101,6	25,4	4,91	108,0	535	12,70

Tem havido progresso considerável na análise teórica das ligações por meio de anéis metálicos, mas, a distribuição dos esforços é tão complicada que torna-se necessário, cuidadosa experimentação para obter dados para o dimensionamento. Uma análise dos esforços dentro de uma ligação ajuda a interpretar os resultados obtidos nos ensaios.

Nos ensaios de tração, os esforços introduzidos na madeira ligada por anéis metálicos fig. nº 14 podem ser

(27) - HANSEN, Howard J. - Modern timber design. New York, John Wiley & Sons, 1943.

(28) - HANSEN, Howard J., Op. cit. p. 105

classificados como esforços cortantes, de compressão e de tração. A área sombreada representa a parte da madeira sujeita a esforço cortante (a), compressão (b) e (c) e (d) (29).

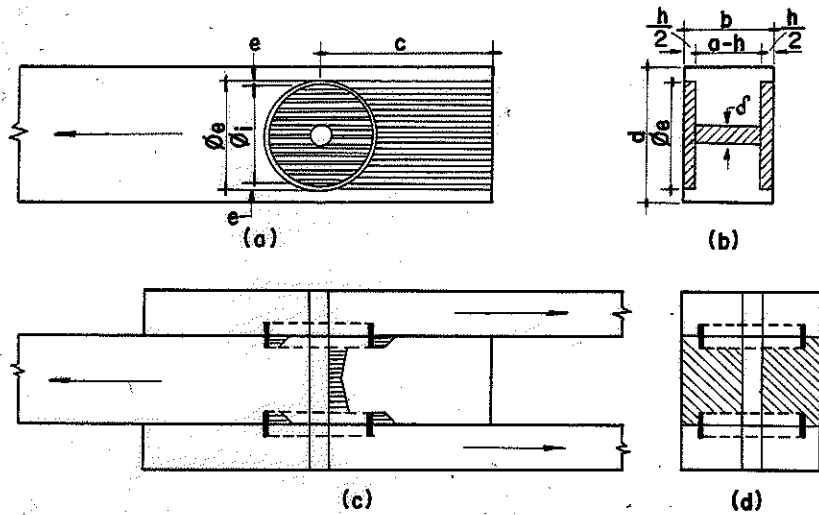


Fig. 14

A área sujeita a esforço cortante pode ser estimada:

$$\text{Interna ao anel} = 2 \left(\frac{\pi \phi_i^2}{4} \right)$$

$$\text{Externa ao anel} = 2 \left[\phi_e \cdot c - \frac{1}{2} \left(\frac{\pi \phi_e^2}{4} \right) + 2 \left(\frac{h \cdot c}{2} \right) \right]$$

A área sujeita à compressão pode ser estimada:

$$= 2 \left(\frac{h \phi_e}{2} \right) + \delta (b - h)$$

A área sujeita à tração pode ser estimada:

$$b \cdot d - \left[2 \left(\frac{c \phi_e}{2} \right) + \delta (b - h) \right]$$

Definindo-se:

ϕ_i = diâmetro interno do núcleo

ϕ_e = diâmetro externo do núcleo

c = distância à extremidade

h = altura dos anéis

δ = diâmetro do parafuso

b = espessura da seção transversal da peça central

d = altura da seção transversal da peça central

Muitos fatores relacionados com as propriedades do material afetam os esforços de compressão, cisalhamento e tração nas ligações com anéis metálicos abertos, como:

- a) espécie de madeira.
- b) direção da carga em relação às fibra.
- c) altura e espessura das peças de madeira.
- d) teor de umidade.
- e) presença de rachaduras.
- f) distância dos anéis à borda e à extremidade.
- g) espaçamento dos anéis.
- h) tamanho dos sulcos dos anéis.
- i) posição da abertura do anel em relação à direção das fibras.
- j) tamanho do furo do parafuso.

São realizados dois tipos principais de ensaios, sendo um com carga aplicada paralelamente às fibras e outro com carga aplicada perpendicularmente. O corpo de prova é formado por tres peças unidas por dois anéis e um parafuso, ou no caso do estudo de espaçamento por quatro anéis e dois parafusos.

Amostras de controle são retiradas dos corpos de prova para determinar as características de resistência da madeira.

A carga é aplicada de forma contínua com velocidade do pistão no intervalo de 0,0718 a 0,098 cm por minuto. O deslizamento das cobrejuntas é medido por meio de extensômetros graduados em $\frac{pol}{1000}$.

Os anéis abertos mais empregados na prática são os de 63,5 mm (2 $\frac{1}{2}$ ") e 101,6 mm (4") e os ensaios demonstraram que a densidade da madeira é o melhor critério de resistência. Tanto o limite de elasticidade como a resistência máxima aumentam em proporção direta com a densidade, como ilustrado no gráfico nº 01 e nº 02.

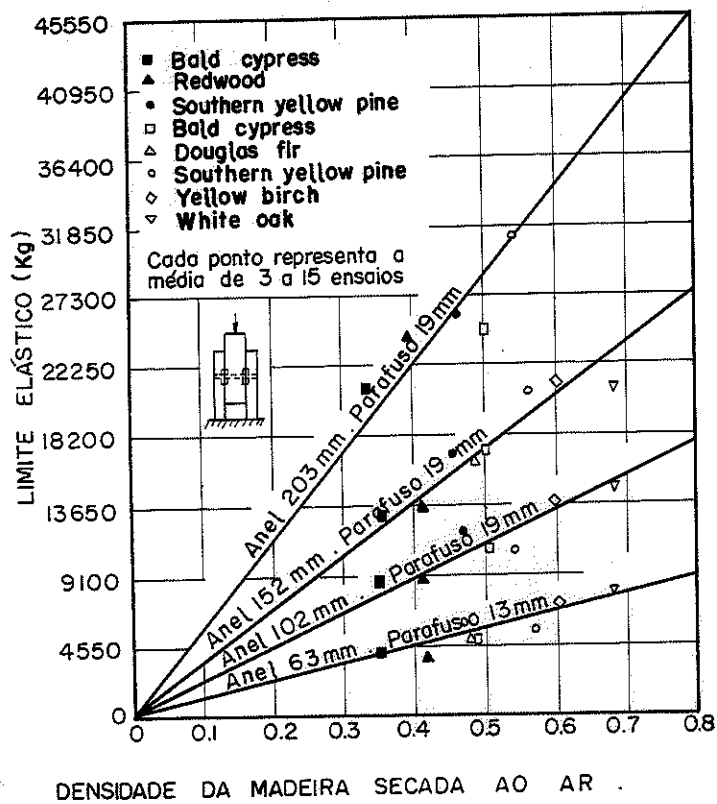


GRÁFICO 1

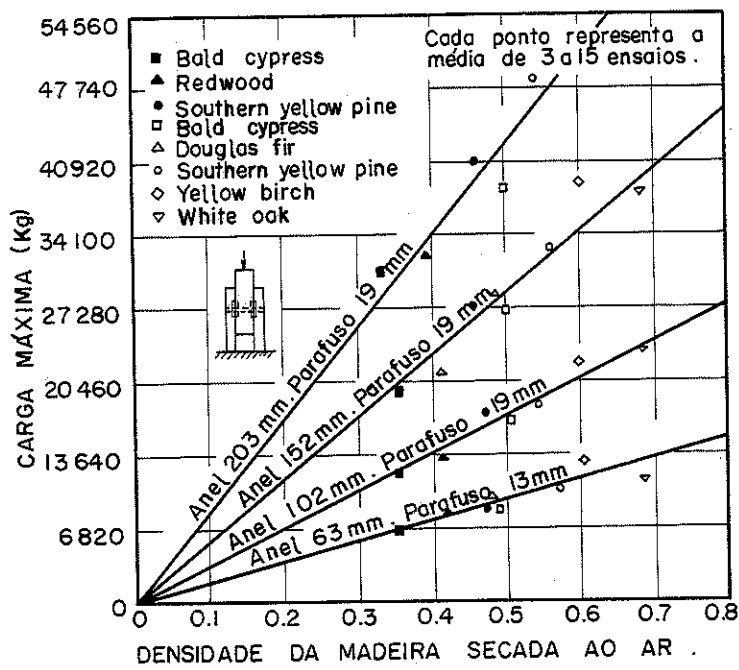


GRÁFICO 2

O limite de elasticidade ocorre aproximadamente de 1/2 a 2/3 da carga máxima, dependendo da espécie da madeira e do tamanho dos anéis, gráfico nº 03 (31).

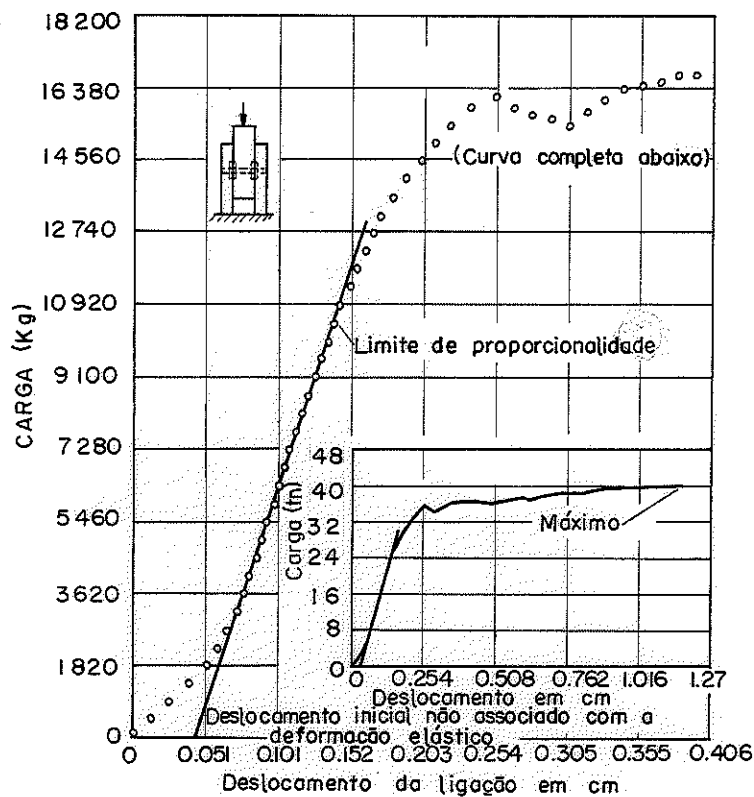


GRÁFICO 03

A resistência da ligação por anéis abertos em peças perpendiculares entre si, alcançou 58% da resistência da ligação em peças paralelas, nos anéis de 63,5 a 101,6 mm e 50% nos anéis 152,4 mm, sendo a altura da seção transversal das peças respectivamente 92, 140 e 191 mm.

A análise de ensaios de ligação de três peças com anéis abertos, revelou que a espessura da peça principal para desenvolver carga ótima é 51 mm para anel de 63,5 mm com parafuso de 13 mm e 76 mm para anel de 101,6 mm com parafuso de 19 mm.

Para as cobrejuntas a espessura mínima é metade da altura do anel mais 13 mm.

Os gráficos nºs. 04 e 05 mostram a relação entre carga paralela às fibras e a espessura da peça principal, (32).

(31) - HANSEN, Howard J., *Op. cit*, p. 110

(32) - HANSEN, Howard J., *Op. cit*, p. 111

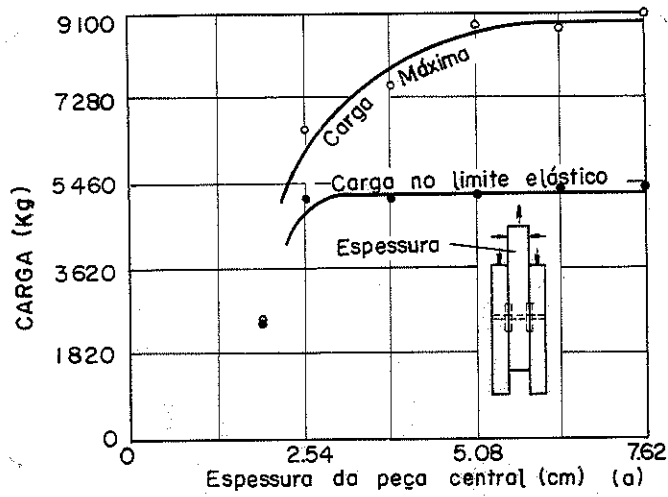


GRÁFICO - 04
Anel de 63,5 mm

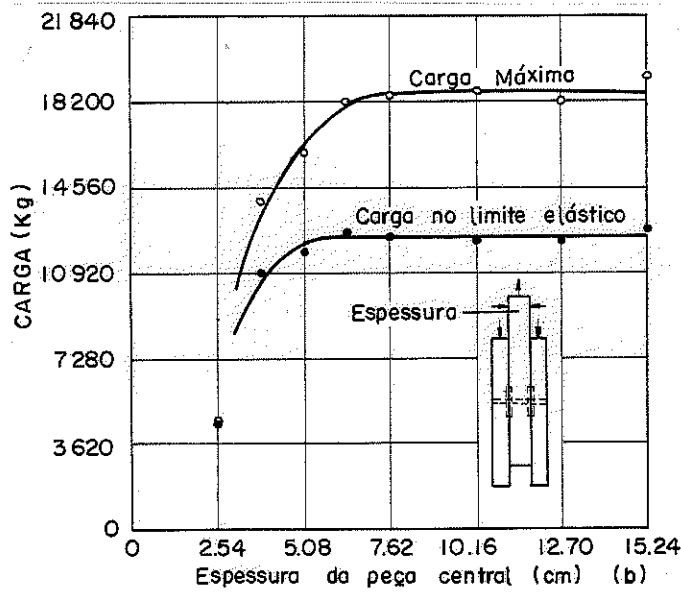


GRÁFICO - 05
Anel de 101,6 mm

O gráfico nº 06 mostra a relação entre carga perpendicular à fibra e a espessura da peça principal. (33).

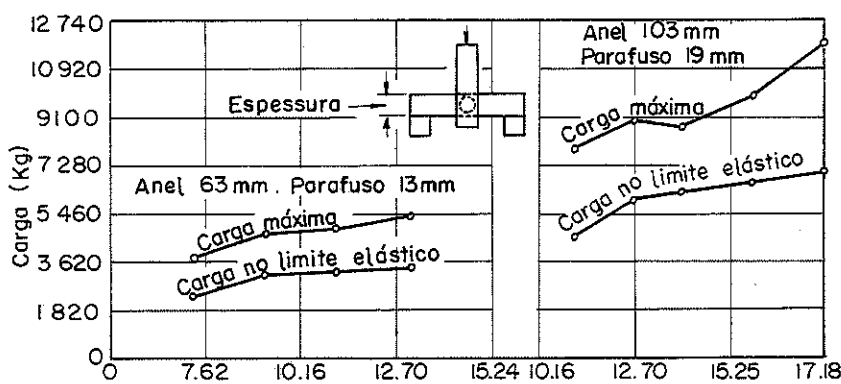


GRÁFICO - 06

(33) - HANSEN, Howard J., *Op. cit.*, p. 112

A largura das peças para anéis de 63,5 e 101,6 mm, com base em resultados de ensaios será de 92 e 140 mm respectivamente. Um aumento nessa largura mínima, dará um acréscimo muito pequeno na carga máxima e no limite elástico esse aumento é desprezível.

A distância medida no centro do anel à extremidade da peça, tem influência considerável sobre a resistência da ligação quando a carga é paralela às fibras.

Os gráficos n° 07 e n° 08 mostram a carga no limite elástico e a carga máxima para anéis de 63,5 e 101,6 mm com várias distâncias da extremidade ao centro do anel (34).

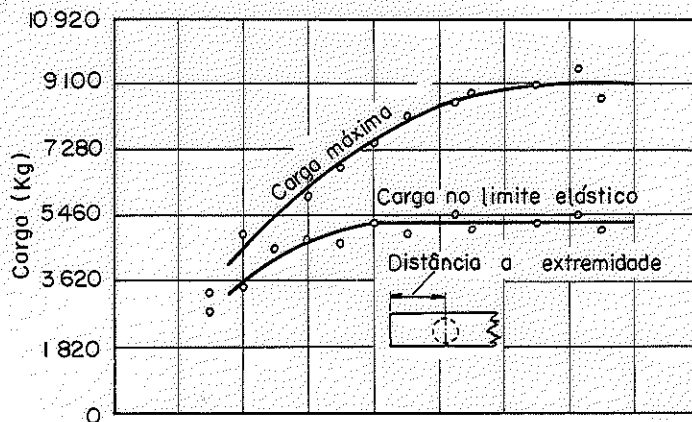


GRÁFICO - 07
Anel de 63,5 mm

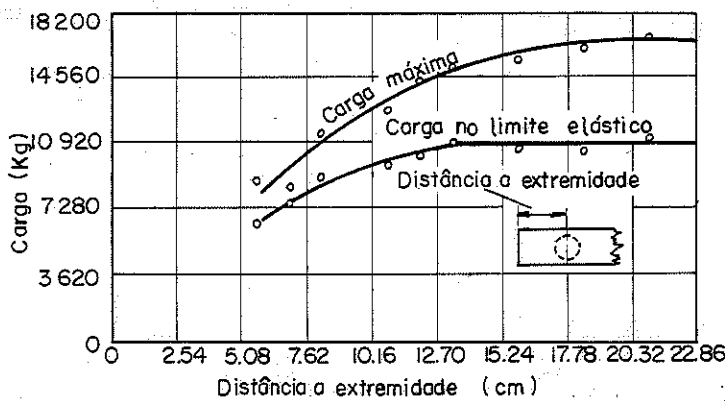


GRÁFICO - 08
Anel de 101,6 mm

Os ensaios foram realizados com pino suriano seco ao ar, livre de rachaduras. Foi adotada distância, para obter a carga máxima, igual ao diâmetro do anel mais 76 mm. Quando a distância à extremidade for menor a carga admissível será inferior.

O espaçamento entre anéis, indicado pela análise de resultado dos ensaios para a carga máxima, deve ser 1 1/2 o diâmetro do anel mais 76 mm. Quando o espaçamento entre anéis é 1 vez o diâmetro do anel mais 22 mm, a carga chega a ser apenas 50% da carga máxima para o 2º par de anéis.

(34) - HANSEN, Howard J., *Op. cit.*, p. 113

O gráfico nº 09 apresenta um diagrama típico de carga-espacamento. (35).

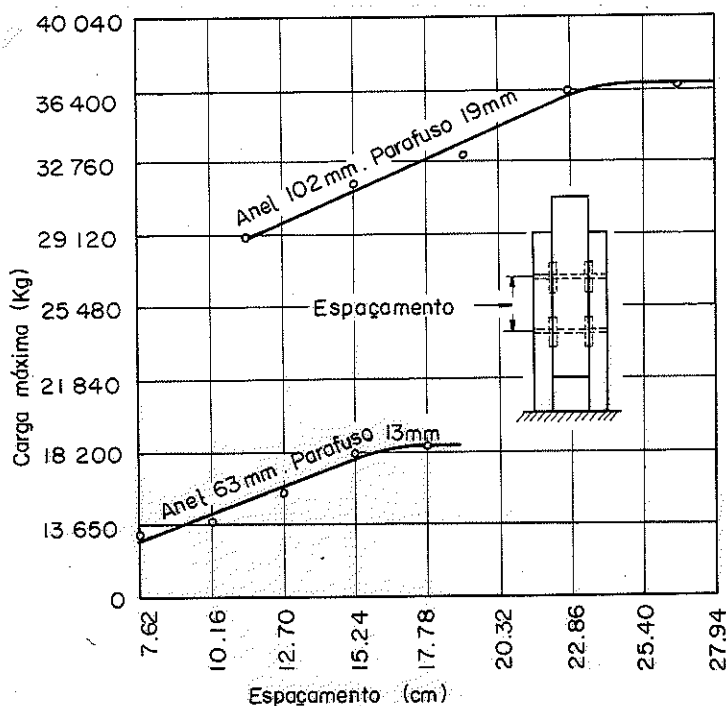


GRÁFICO 09

Parafusos e arruelas: as cargas admissíveis no cálculo de anéis metálicos abertos dependem do diâmetro dos parafusos e arruelas. Na tabela nº12 são apresentados os diâmetros mínimos indicados por Hansen para os anéis abertos. (36).

TABELA nº 12 - Dimensões dos Parafusos e Arruelas em mm.

Anéis Metálicos	Diâmetro dos Anéis	Parafusos Diâmetro	Arruela Redonda			Placa Quadrada	
			Ferro Fundido		Espessura	lado	espessura
			Diâmetro	Diâmetro			
Anéis Abertos	63,5	12,70	34,58	34,93	2,38	50,80	3,18
	101,6	19,05	76,20	50,80	3,97	76,20	4,76

(35) - HANSEN, Howard J., *Op. cit*, p. 114

(36) - HANSEN, Howard J., *Op. cit*, p. 115

Nas cargas admissíveis nos anéis metálicos, supõem-se que as faces dos membros adjacentes entram em contato. Quando a madeira não estiver seca ao ar e alcançar este teor de umidade já em serviço, as ligações devem ser reapertadas periodicamente, até que alcance o equilíbrio de umidade.

As cargas admissíveis nos anéis metálicos, dependem da espécie e da espessura da madeira, da distância das bordas, e das extremidades, do espaçamento entre anéis, da direção da carga em relação às fibras e são apresentadas nos gráficos nº 10 e nº 11. (37).

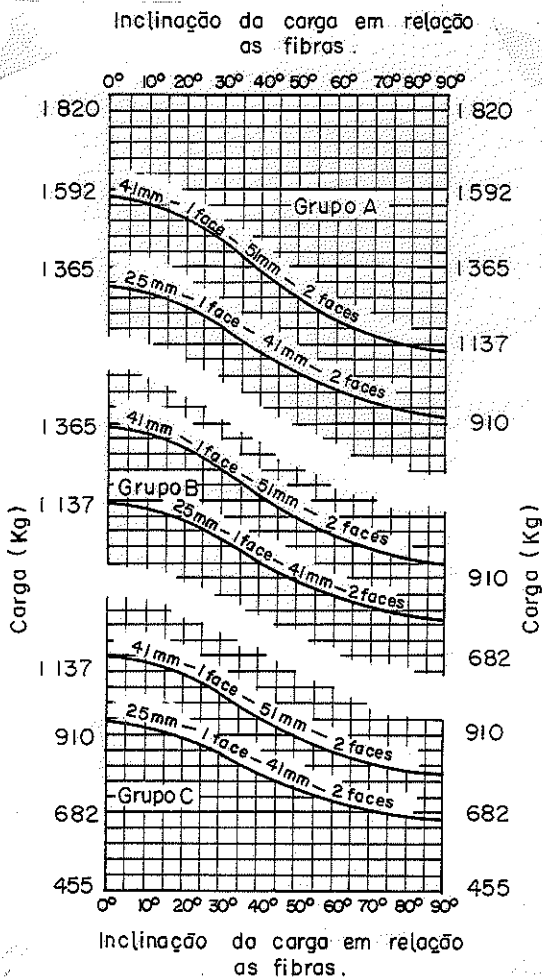


GRÁFICO 10
Anel de 63,5 mm

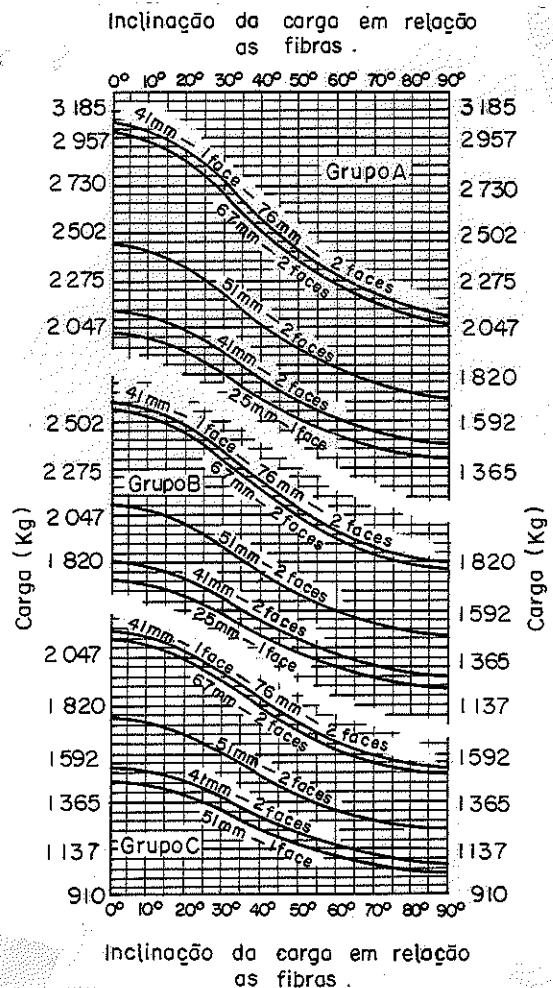


GRÁFICO 11
Anel de 101,6 mm

Para ligações que vão permanecer totalmente carregadas durante muitos anos, deve-se empregar 90% dos valores dados nos gráficos. Como a madeira resiste cargas maiores quando estas são aplicadas durante prazos curtos, os valores obtidos dos gráficos podem ser aumentados segundo a tabela nº 13, (38).

(37) - HANSEN, Howard J., *Op. cit.* p. 116 e 117

(38) - HANSEN, Howard J., *Op. cit.* p. 117

TABELA nº 13 - Aumento Admissível nas Cargas dos Anéis Metálicos Abertos para Cargas de Curta Duração.

Cargas Permanentes	Carga de 3 meses (neve)	Carga de Vento	Carga de Impacto
0%	15%	33 ¹ / ₃ %	100%

A carga atuante nos anéis metálicos inclinada em relação às fibras, variando de 0° a 90°, é determinada mediante a fórmula de Hankinson.

$$\bar{N} = \frac{\bar{p} \bar{q}}{\bar{p} \sin^2 \theta + \bar{q} \cos^2 \theta}$$

\bar{N} = esforço admissível na superfície inclinada

\bar{p} = esforço admissível em compressão // às fibras

\bar{q} = esforço admissível em compressão \perp às fibras

θ = ângulo entre a direção da carga e fibra

As cargas admissíveis, dependem da espécie empregada. As diversas espécies de madeira são agrupadas de acordo com sua resistência.

TABELA nº 14 - (39) Agrupamento de Espécies Classificadas, segundo sua Resistência, para Estimar as Cargas nos Anéis.

Grupo A	Grupo B	Grupo C
Douglas fir (dense) Oak, red and white Pine, southern (dense)	Douglas fir (coast region) Larch, western Pine, southern	Cypress, southern and tidewater red Hemlock, West coast Pine, Norway Redwood

(39) - HANSEN, Howard J., *Op. cit.* p. 118

As cargas admissíveis nos anéis metálicos abertos, são indicadas para a madeira seca ao ar, pelo menos a uma profundidade de 19 mm, e que permanece seca enquanto está em serviço.

Para uma peça que não esteja bem seca, mas venha a secar em serviço, usa-se 80% das cargas tabeladas. Se a peça estiver seca ou não, mas, em serviço vier a trabalhar com umidade elevada, deve-se empregar 67% das cargas tabeladas.

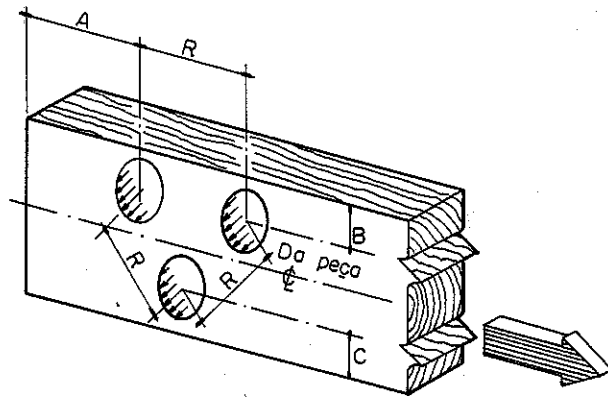


Fig. 15 - Distâncias entre Anéis, à borda e à extremidade

A distância à borda é medida do centro do anel à borda mais próxima no sentido perpendicular às fibras, fig. nº 15.

Há dois tipos de distância à borda: a distância à borda sem carregamento e à borda carregada ou comprimida. Quando a carga é paralela às fibras, ambas as bordas estão descarregadas fig. nº 16. (40).

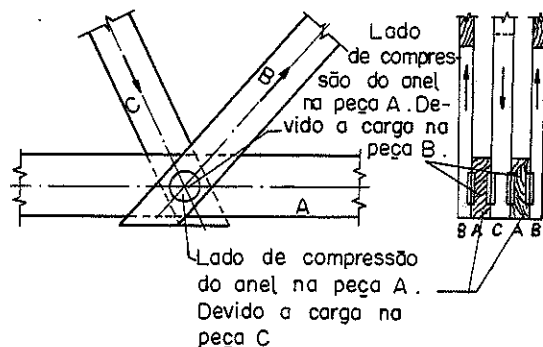


Fig. 16 - Carregamento de uma Estrutura

Os gráficos 12 e 13, (41), apresentam as distâncias permissíveis do centro do anel à borda, para anéis abertos de 63,5 e 101,6 mm respectivamente.

(40) - HANSEN, Howard J., *Op. cit.* p. 119 e 120

(41) - HANSEN, Howard J., *Op. cit.* p. 120

Na margem direita dos gráficos estão as distâncias normais e mínimas correspondente à borda descarregada.

Para as bordas carregadas a distância varia de acordo com a inclinação da carga em relação às fibras.

Esta distância poderá ser determinada por meio do gráfico n° 12 e n° 13 escolhendo a linha que representa a inclinação da carga e determinando a porcentagem da carga admissível que deve ser empregada. Pode-se interpolar linearmente para valores intermediários.

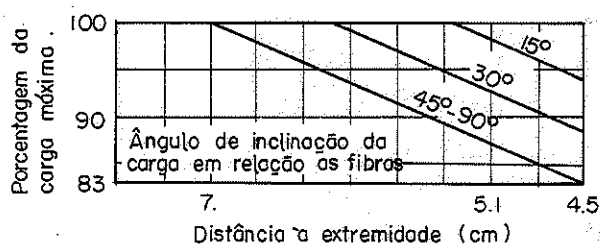


GRÁFICO 12

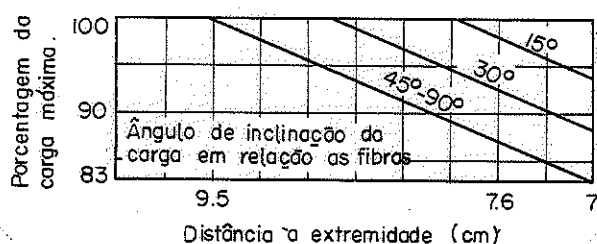


GRÁFICO 13

A distância à extremidade é medida do centro do anel até o extremo cortado perpendicularmente às fibras, como indica a fig. n° 15. Se o extremo da peça não estiver cortado no esquadro, a distância será medida como mostra a fig. n° 17 (42).

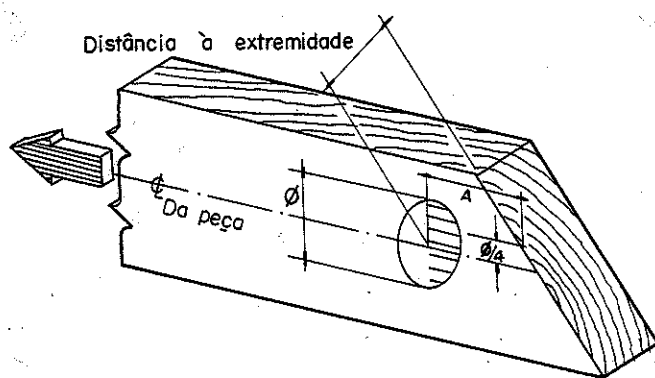


Fig. 17 - Distância à Extremidade

(42) - HANSEN Howard, J., *Op. cit.* p. 121.

Os gráficos nº 14 e nº 15 (43), apresentam as distâncias às extremidades, admissíveis para anéis abertos, tanto para peça sujeita à tração como à compressão.

As distâncias às extremidades para desenvolver 100% da carga admissível em anéis abertos, são apresentadas na parte superior dos gráficos, no ponto em que coincidem as linhas inclinadas e as distâncias mínimas, isto é, aquelas capazes de desenvolver 62,5% da carga, estão na parte inferior.

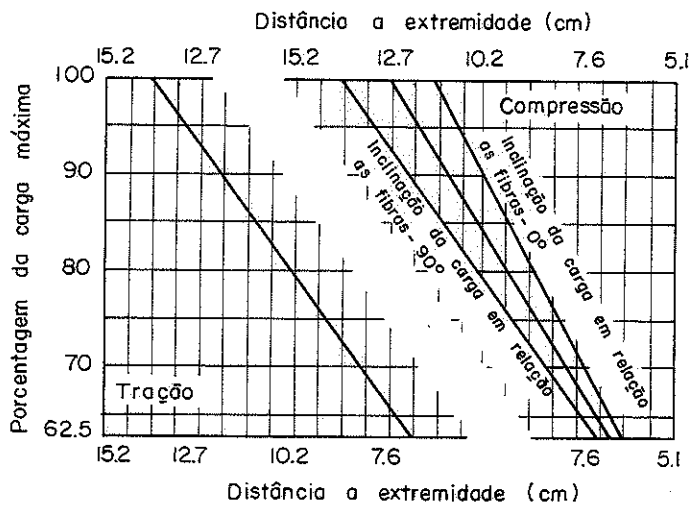


GRÁFICO 14

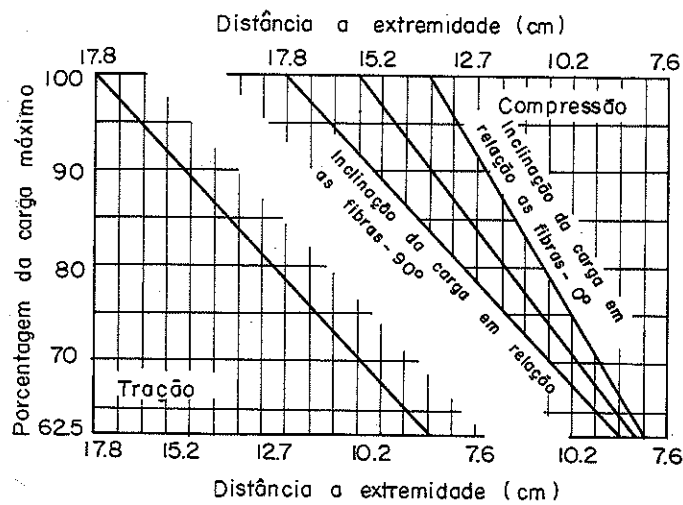


GRÁFICO 15

(43) - HANSEN, Howard J., Op. cit. p. 121 e 122

Quando se reduz a carga admissível, devido à distância à borda, distância à extremidade, espaçamento entre anéis ou direção carga e fibra, para efeito de cálculo, adota-se a de menor valor entre elas separadamente.

A seção líquida de uma ligação, por anéis metálicos determina-se diminuindo da seção bruta da peça, a projeção da área de um anel que fica dentro da peça e a parte do parafuso fora do anel.

Para cada grupo de madeiras existem constantes que multiplicadas pela carga total, obtem-se a seção líquida necessária, em cm^2 .

TABELA n° 15 - Constantes para Determinar a Área Líquida

Tipo de Carga	Diâmetro	Constante para cada grupo de carga sobre anéis		
		Grupo A	Grupo B	Grupo C
Permanente	101,6 mm ou menos	0,00568	0,00667	0,00781
	mais de 101,6 mm	0,00710	0,00838	0,00994
Neve	101,6 mm ou menos	0,00497	0,00582	0,00696
	mais de 101,6 mm	0,00625	0,00724	0,00866
Vento	101,6 mm ou menos	0,00383	0,00440	0,00526
	mais de 101,6 mm	0,00469	0,00554	0,00667

Para conveniência na determinação da porcentagem da carga básica para anéis metálicos abertos quando a carga se aplica inclinada com relação às fibras, pode-se utilizar o gráfico n° 16.

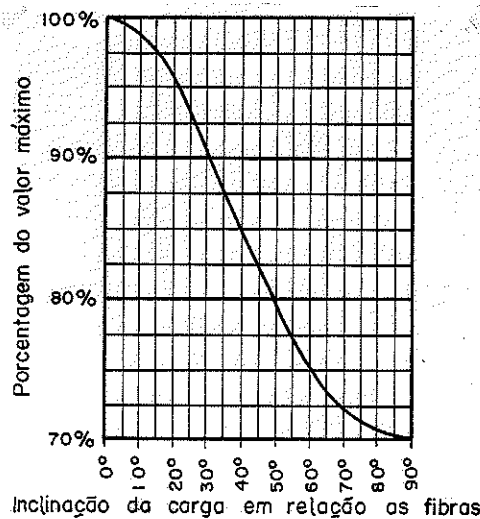


GRÁFICO 16

2.2.6 - Anéis Metálicos Abertos - Vários Autores:

Importante contribuição bibliográfica para o estudo dos anéis metálicos encontra-se no "Timber Construction Manual" editado pelo "AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION", editado pela primeira vez em 1954, o qual vem reproduzindo em edições sucessivas todo o desenvolvimento para dimensionamento dos anéis abertos apresentados anteriormente por Hansen (44).

GATTNAR e TRYSNA, em 1954, indicaram muitas aplicações de anéis na construção de telhados e hangares de madeira, sem entretanto apresentar detalhes para o cálculo das ligações (45).

YVES GASC e ROBERT DELPORTE, descrevem sumariamente as ligações metálicas de peças estruturais de madeira, revelando grande confiança nos anéis abertos, e indicando 3 (três) toneladas como a capacidade de carga de um par de anéis de 10 cm de diâmetro e um parafuso (46).

Embora descrevendo em detalhes todos os tipos de ligação de peças estruturais de madeira o WOOD HANDBOOK DO FOREST PRODUCTS LABORATORY, em 1955 não supera o trabalho de Hansen na apresentação dos anéis metálicos abertos (47).

R.G. PEARSON, N.H. KLOOT e J.D. BOYD, em 1958, apresentam as idéias básicas para o emprego dos anéis partidos, destacando-se interessante vista espacial de uma ligação múltipla tipo banzo, diagonal e montante, fig. nº 18. (48).

(44) - AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION - Timber Construction Manual, 2.ed. New York, John Wiley and Sons 1974. 393 p.

(45) - GATTNAR, Anton & TRYSNA, Franz - Hölzerne dach-und Hallenbauten. Berlin, Verlag Von Wilhelm Ernest & Sohn, 1954 p.302.

(46) - GASC, Yves & DELPORTE, Robert - Les Charpentes en Bois. Eyrolles, Paris, 1954. p.212.

(47) - FOREST PRODUCTS LABORATORY - Wood Handbook. USDA-FS, Mad., WI, 1955, 528p. (Agriculture Handbook, 72).

(48) - PEARSON, R.G.; KLOOT, N.H; BOYD, J.D. - Timber Engineering Design Handbook, Melbourne University, Austrália, 1958. p. 148.

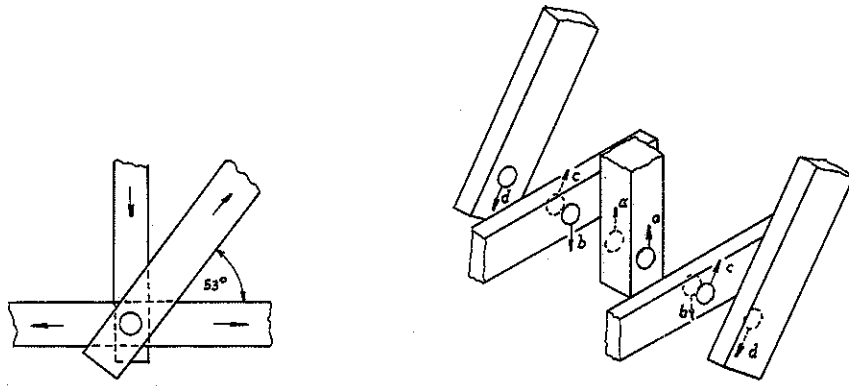


Fig. 18 - Vista de uma Ligação Múltipla

Para a resistência dos anéis abertos é apresentada uma ampla tabela, para madeira verde:

TABELA nº 16 - Carga Admissível por Anel Aberto (pode ser modificada de acordo com tabela nº 17) (49).

Grupo	Diâmetro Interno do Anel (poleg.)	Mínima espessura da madeira (polegada)		carga admissível por anel com inclinação da carga em relação às fibras (kg)						
		anel em uma face	anel oposto em 2 faces	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
A	2 1/2	-	1 1/2	1211	1122	986	848	746	685	667
		1	2	1814	1728	1506	1288	1125	1030	998
	4	-	2	2336	2268	2086	1905	1746	1633	1606
		1 1/2	3	3175	3084	2849	2585	2359	2227	2177
B	2 1/2	-	1 1/2	971	918	794	676	581	556	512
		1	2	1451	1370	1184	1007	871	798	771
	4	-	2	2005	1941	1724	1501	1333	1229	1202
		1 1/2	3	2722	2622	2331	2041	1814	1678	1633
C	2 1/2	-	1 1/2	907	848	705	574	485	433	422
		1	2	1360	1270	1057	866	730	658	655
	4	-	2	1837	1724	1474	1216	1034	930	907
		1 1/2	3	2495	2340	1987	1637	1392	1265	1225
D	2 1/2	1	1 1/2	649	655	590	535	492	465	458
		-	2	889	871	805	737	680	646	630
		1 1/2	2 1/2	971	934	871	798	735	703	689
	4	-	2	1415	1370	1270	1157	1061	998	984
		1 1/2	-	1515	1479	1365	1243	1134	1066	1052
		2	3	1873	1814	1692	1542	1415	1324	1306

(49) - Op. cit. - p. 142

Para madeira seca, umidade menor do que 15% é indicada a correção de acordo com a tabela seguinte:

TABELA nº 17 - Fator de Carga para Anéis em Madeira Seca (50)

Grupo	A, B, C							D
Angulo da carga com às fibras	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	qualquer
Fator	1.25	1.29	1.33	1.38	1.42	1.46	1.50	1.25

FRANÇOIS-XAVIER BROCHARD, em 1960, apresenta várias construções de madeira realizadas na França. Todavia não chega aos detalhes de projeto nem de cálculo. Os anéis abertos são apresentados sem caráter original (51).

FRED R. OBERG em 1963 - menciona também a utilização de conectores de aço para madeira, nos Estados Unidos, por Perkins, Landsem e Trayer a partir de 1933, e descreve brevemente os anéis dentados e os anéis partidos, referindo-se aos anéis dentados como impróprios para estruturas pesadas de madeira (52).

OZELTON e BAIRD - Apresentaram em 1976 um interessante texto relativo às estruturas de madeira com atuação especial ao estudo dos anéis partidos de aço, acompanhando e melhorando a literatura internacional disponível (53) fig. nº 19 (54).

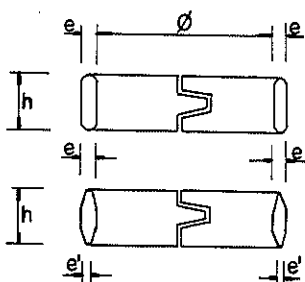


FIG 19

(50) - *Op. cit.* p. 147

(51) - BROCHARD, F. - *Bois et Charpentés em Bois: le Matériau et son Utilization* - Paris, Eyrolles, 1960. 255 p.

(52) - OBERG, F.R. - *Heavy Timber Construction*. California, American Technical Society, 1963. 373 p.

(53) - OZELTON, E.C. & BAIRD, J.A. - *Timber Designers' Manual*. - Londres, Crosby Lookwood Staples, 1976. 518 p.

TABELA nº 17 - Dimensões dos Anéis Partidos (54).

Diâmetro	Tipo	Dimensões (mm)			
		ϕ	e	e'	h
64	a	63,5	4,1	-	19
	b	63,5	4,1	3,1	19
104	b	101,6	4,9	3,4	25,4

A ligação com apenas um anel partido é apresentada na fig.nº 20, com indicação da distribuição de tensões de compressão no anel sujeito à compressão na fig.nº 21 (55).

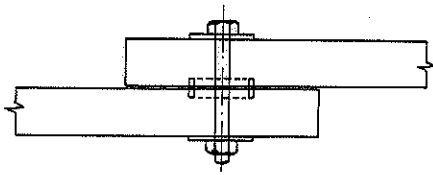


Fig. 20

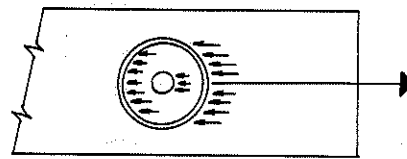


Fig. 21

A ruptura na ligação pode ser usualmente provocada pela ação da força cortante, ocorrendo o deslocamento de uma seção da madeira apresentada na fig.nº 22 (56).

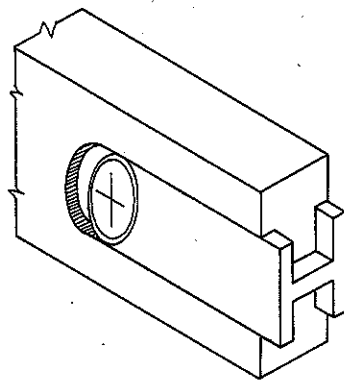


Fig. 22

(54) - Op. cit. p.351

(55) - Op. cit. p.361

A tabela nº 18 apresenta a carga básica para um anel partido, em madeira seca de diversas espécies em agrupamentos J₁, J₂, J₃ e J₄.

TABELA nº 18 - Capacidade de Carga - Anel Aberto (56)

Anel Partido diâmetro (mm) (pol)	Parafuso diâmetro (mm) (pol)	Espessura da Madeira		P = Carga paralela às fibras (kg)				Q = Carga perpendicular às fibras (kg)					
		Um anel (mm)	Dois anéis (mm)	grupo J ₁	grupo J ₂	grupo J ₃	grupo J ₄	grupo J ₁	grupo J ₂	grupo J ₃	grupo J ₄		
64	2 ^{1/2}	12,7	1/2	22	32	871	756	624	545	624	531	445	382
				25	40	1161	916	758	649	756	647	538	465
				29	50	1286	1102	933	799	916	786	656	560
				E OUTROS	E OUTROS								
102	4	19,0	5/4	29	41	1765	1520	1265	1092	1235	1051	879	758
				32	50	2020	1735	1439	1245	1408	1204	1005	876
				36	63	2388	2051	1704	1480	1663	1429	1184	1020
				40	72	2510	2153	1796	1551	1745	1500	1245	1082
				41	75	2531	2163	1806	1561	1755	1510	1255	1082

Para facilitar o projeto de ligação de peças em estruturas treliçadas, os valores das cargas paralelas às fibras, admissíveis nos anéis metálicos partidos, em madeira do grupo J₃, são dados na tabela nº 19.

Para a duração de carga, Ozelton e Baird, indicam a utilização de coeficientes K₂₂ de modificação das cargas básicas dos anéis metálicos partidos: 1.00 para cargas permanentes, 1.25 para cargas de média duração e 1.50 para cargas de curta duração.

TABELA nº 19 - Capacidade de Carga de um Anel em Madeiras do Grupo J₃ para Estruturas em Treliça (57).

Tipo do Anel	Diâmetro (mm)	Espessura da Peça (mm)	Capacidade de Carga de um Anel P (kg)					
			Anel em uma só face			Anel em ambas as faces		
			Carga de longa duração	Carga de média duração	Carga de curta duração	Carga de longa duração	Carga de média duração	Carga de curta duração
Partido	64	35	933	1163	1398	674	843	1011
		47	933	1163	1398	881	1102	1316
		60	933	1163	1398	933	1163	1398
		72	933	1163	1398	933	1163	1398
	104	35	1633	2041	2449	-	-	-
		47	1806	2255	2714	1378	1724	2061
		60	1806	2255	2714	1643	2051	2459
		72	1806	2255	2714	1796	2245	2694

(56) - Op. cit - p. 362

(57) - Op. cit - p. 364

Para a variação de unidade Ozelton e Baird, indicam o coeficiente K_{23} ; 1.00 para ligações mantidas secas em serviço, e 0,70 para ligações mantidas unidas por longo tempo.

Em função da modificação devido à duração das cargas e redução devido à unidade adotam:

Carga admissível = carga básica x K_{22} x K_{23} x K_{24} , sendo K_{24} referente à espaçamento, distância de extremidade e distância de borda, admitindo $K_{24} = 1.00$ para os espaçamentos normalizados (57).

Para obtenção dos esforços inclinados em relação às fibras Ozelton e Baird, partindo da equação de Hankinson, indica a utilização de coeficiente $K_{\theta} = \frac{1}{1 + 0,044 \text{ sen}^2 \theta}$ resultante da interação de P e Q, tabela nº 20 para a capacidade de N_{θ} em função do ângulo de aplicação.

$$N_{\theta} = K_{\theta} P$$

TABELA nº 20 - Valores de K_{θ} em função de θ (48).

θ	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_{θ}	1,00	0,997	0,987	0,971	0,951	0,927	0,901
θ	40°	50°	60°	70°	80°	90°	
K_{θ}	0,846	0,795	0,752	0,720	0,701	0,694	

Para desenvolver a carga básica total, o anel partido requer distâncias padrões; da extremidade C_{st} , da borda D_{st} e espaçamento S_{st} , podendo ser expressas em termos do diâmetro do anel. (58).

A distância à extremidade c é medida paralelamente às fibras, desde o centro do anel até o final da peça cortada no esquadro, fig. nº 23.

(58) - Op. cit. p. 365

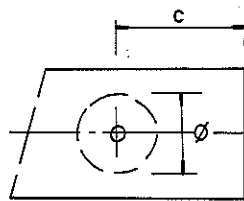


Fig. 23

Extremidade cortada no esquadro.

Se a extremidade não for cortada no esquadro, a distância c será a medida da linha paralela às fibras acima da linha central de $\phi/4$, desde o centro do anel até à extremidade, fig. 24 (59).

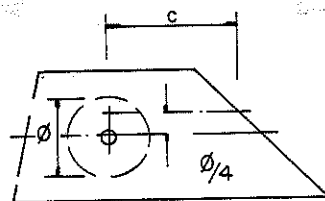
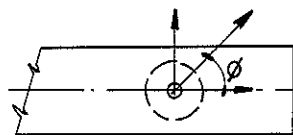


Fig. 24

Extremidade em ângulo

Para extremidades carregadas, fig. nº 25, fazendo-se $K_{24} = K_c = 1$.

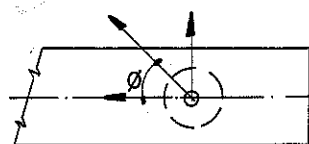


Extremidade carregada

Fig. 25

tem-se $C_{st} = \phi + 76$ mm e para o valor mínimo de $K_c = 0,625$, tem-se $C_{min} = 0,5 C_{st} = 0,5 \phi + 38$ mm. Os valores de C_{st} e C_{min} não se alteram quando o ângulo θ da carga em relação às fibras varia de 0° a 90° .

Para extremidades descarregadas, fig. nº 26, C_{min}



Extremidade descarregado

Fig. 26

(59) - Op. cit. p. 345

Para $\theta = 0^\circ$ e $K_c = 1,0$ tem-se $C_{st} = \phi + 38$ mm. Para $K_c = 0,625$ tem-se $C_{min} = 0,5 \phi + 32$ mm. Para valores intermediários de K_c , podem ser determinados por interpolação linear. Quando a carga age perpendicularmente às fibras ($\theta = 90^\circ$), a distância à extremidade pode ser relacionada com a extremidade carregada; $K_c = 1,0$, $C_{st} = \phi + 76$ mm e para $K_c = 0,625$, $C_{min} = 0,5 \phi + 38$ mm. Quando a carga age com ângulo intermediário em relação às fibras, C_{st} e C_{min} podem ser reduzidos linearmente, isto é; em função do ângulo θ .

$$C_{st} = \phi + 0,442 \theta + 38 \quad e;$$

$$C_{min} = 0,5 \phi + \frac{\theta}{15} + 32 \quad (60)$$

A distância à borda D é medida da borda da peça até o centro do anel, perpendicularmente à borda, fig. nº 27.

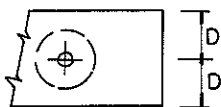


Fig. 27 - Distância à Borda

Se a borda é oblíqua toma-se a distância D como mostra a fig. nº 28.

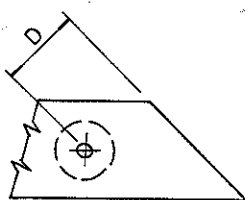


Fig. 28

A distância mínima do anel à borda, para o anel de 64 mm de diâmetro é $D_{min} = 44$ mm e para o de 102 é $D = 70$ mm. Na borda $D_{st} = D_{min}$ e $K_{24} = K_D = 1,0$, fig. nº 29.

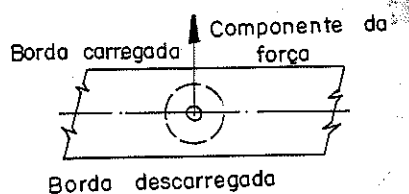


Fig. 29

Na borda carregada $D_{st} = D_{min}$ para $\theta = 0^\circ$. Para θ variando de 45° a 90° $D_{st} = 70$ mm para anel de 64 mm de diâmetro e $D_{st} = 95$ mm para anel de 102 mm. Para os ângulos intermediários entre 0° e 45° em relação às fibras, há uma variação linear em D_{st} . Há também uma redução em K_D devido à diminuição de distância à borda.

O coeficiente K_D varia linearmente em função de θ , entre 0° e 45° , sendo dado por $K_D = 1,0 - 0,17 \frac{\theta}{45}$. Para θ variando de 45° a 90° $K_D = 0,83$.

O espaçamento S é a distância medida entre os centros dos anéis. Fig. nº 30 (61).

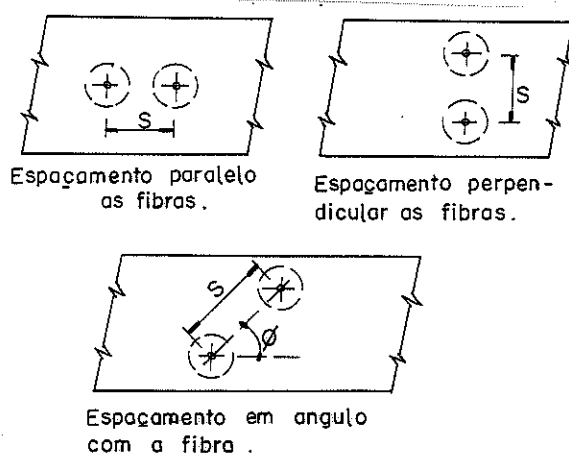


Fig. 30 - Espaçamento entre Anéis

O espaçamento A e B e espaçamento mínimo S_{min} , paralelo e perpendicular às fibras, podem ser expressos em termos do diâmetro nominal do anel. Fig. nº 31 (61), tabela nº 21.

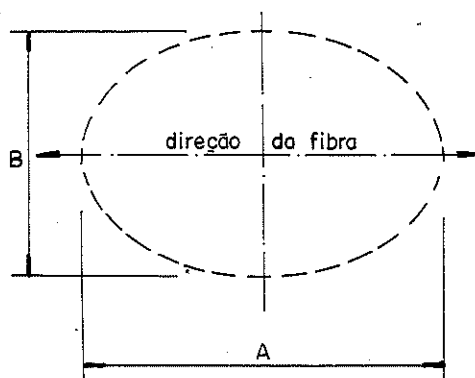


Fig. 31

(61) - Op. cit. p. 347

TABELA nº 21 - Espaçamento dos Anéis (62)

Ângulo entre carga e fibra	A	B	S _{min}
0°	1,5 φ + 76	φ + 25	φ + 25
90°	φ	1,5 φ + 12	φ + 25

Valores de A, B, e S_{min} para ângulo formado entre a direção da carga e fibra são mostrados na tabela nº 22 (62).

TABELA Nº 22

Anel (mm)	Angulo entre carga e fibra	A (mm)	B (mm)	S _{min} (mm)
64	0	171	89	89
	15	152	95	
	30	130	98	
	45	108	105	
	60-90	89	108	
102	0	229	127	127
	15	203	137	
	30	178	146	
	45	152	156	
	60-90	127	165	

Quando a carga age em ângulo com as fibras e o anéis alinhados, formam um ângulo com as fibras. Fig. nº 32, sendo:

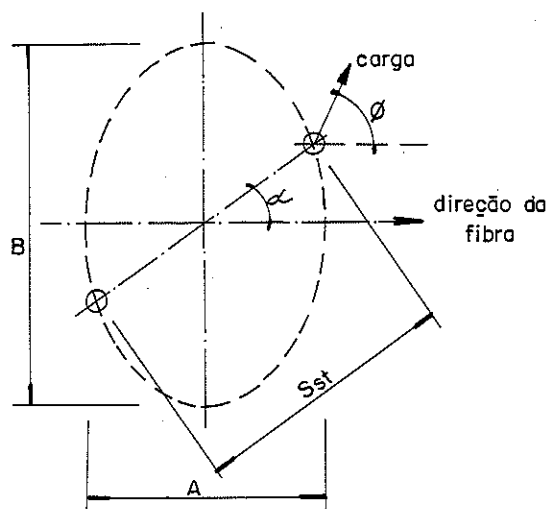


Fig. 32

(62) - Op. cit. p. 366

$K_S = 1,0$ S_{st} é determinado por:

$$S_{st} = \frac{A}{\sqrt{1 + \left[\left(\frac{A}{B}\right)^2 - 1\right] \text{sen}^2 \phi}}$$

Para $K_S = 0,75$ e S_{min} , valores intermediários de K_S são dados pela expressão:

$$K_S = 0,75 + 0,25 \left[\frac{S - S_{min}}{S_{st} - S_{min}} \right]$$

na qual S é o espaçamento atual. K_S sendo conhecido, a fórmula se rã:

$$S = \left[\frac{(K_S - 0,75) (S_{st} - S_{min})}{0,25} \right] + S_{min} \quad (62)$$

Para simplificar a determinação das cargas e espaçamento, a solução gráfica é apresentada nas tabelas nº 23 e nº 24 e gráficos nº 17 e nº 18.

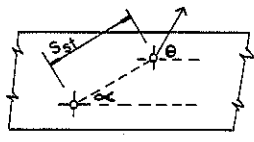
ANEL PARTIDO - 64 mm de diâmetro															
DISTÂNCIA À EXTREMIDADE (mm)	Extremidade descarregada				carregada				valores de K_c						
	0°	45°	90°	0° a 90°											
	C_{st}	C_{min}	C_{st}	C_{min}	C_{st}	C_{min}	C_{st}	C_{min}							
	102	64	121	67	140	70	140	70							
ESPAÇAMENTO (mm)	0°				15°		30°		45°		60° a 90°		valores de K_s		
	S_{st}	S_{min}	S_{st}	S_{min}	S_{st}	S_{min}	S_{st}	S_{min}	S_{st}	S_{min}	S_{st}	S_{min}			
	171	89	152	89	130	89	108	89	89	89	89	89			
ESPAÇAMENTO (mm)	0°				15°		30°		45°		60° a 90°		valores de K_D		
	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}			
	89	89	95	89	93	89	105	89	108	89	89	89			
DISTÂNCIA À BORDO (mm)	Descarregada				Borda carregada				valores de K_D						
	0° a 90°	0°	15°	30°	45° a 90°										
	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}	D_{st}	D_{min}			
	44	44	44	44	53	44	62	44	70	44	44	44			
									S_{st}	θ (graus)					
											0	15	30	45	50-90
								γ	0°	171	152	130	108	89	
									15°	157	145	127	108	90	
									30°	132	129	119	107	93	
									45°	112	114	111	106	97	
									60°	98	103	104	106	102	
									75°	91	97	99	105	106	
								90°	89	95	98	105	108		
$K_S = 0,75 + 0,25 \left[\frac{S - S_{min}}{S_{st} - S_{min}} \right]$ S é o espaçamento atual.															

TABELA nº 23
(63)

ANEL PARTIDO — 102mm de diâmetro

DISTÂNCIA À EXTREMIDADE (mm)	Extremidade descarregada		carregada		valores de K_c 						
	0°	45°	90°	0° a 90°							
	C_{st} C_{min}	C_{st} C_{min}	C_{st} C_{min}	C_{st} C_{min}							
	140 83	159 86	178 89	178 89							
ESPAÇAMENTO (mm)	0°	15°	30°	45°	60° a 90°	valores de K_s 					
	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}						
	229 122	203 127	178 127	152 127	127 127						
ESPAÇAMENTO (mm)						valores de K_p 					
	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}	S_{st} S_{min}						
	127 127	137 127	146 127	156 127	165 127						
DISTÂNCIA À BORDO (mm)	Descarregada		Borda carregada		valores de K_p 						
	0° a 90°	0°	15°	30°		45° a 90°					
	D_{st} D_{min}	D_{st} D_{min}	D_{st} D_{min}	D_{st} D_{min}	D_{st} D_{min}						
	70 70	70 70	78 70	87 70	95 70						
					S_{st}	θ (graus)					
						0	15	30	45	60-90	
$K_s = 0.75 + 0.25 \frac{S - S_{min}}{S_{st} - S_{min}}$ S é o espaçamento atual.					γ	0°	229	203	178	152	127
						15°	213	195	175	152	129
						30°	183	178	168	153	134
						45°	157	161	160	154	142
						60°	140	147	152	155	152
						75°	130	140	148	156	161
						90°	127	137	146	156	165

TABELA nº 24 (64)

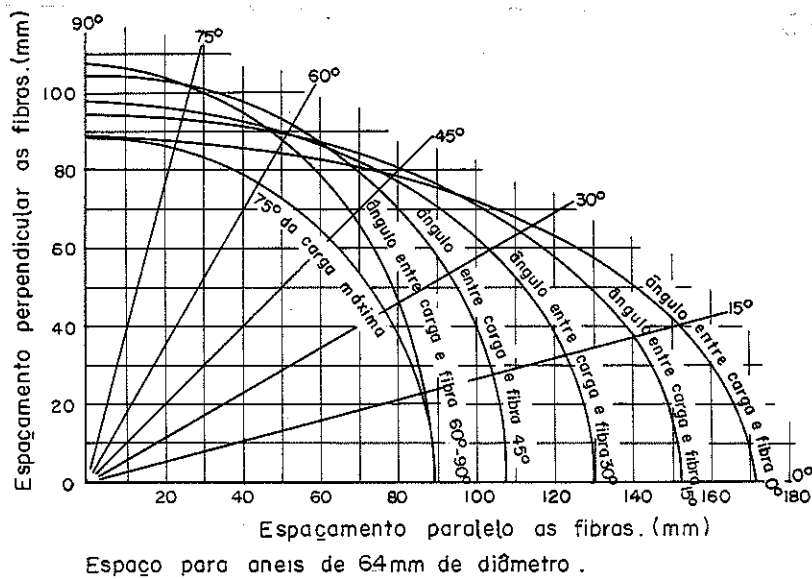


Gráfico 17 (65)

(64) - Op. cit. p. 369

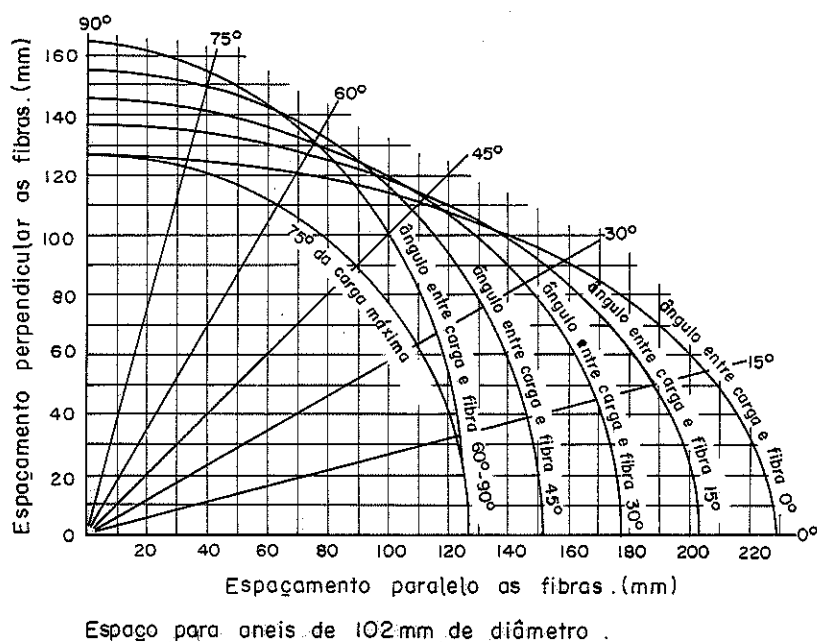
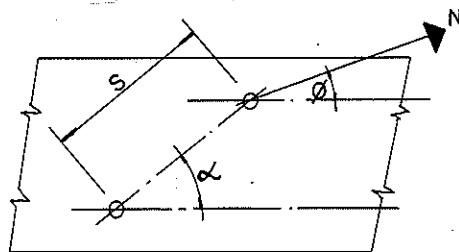


GRÁFICO 18 (65)

Exemplo:

Determinar o valor de K_S e a carga admissível de longa duração para os anéis partidos de 64 mm de diâmetro colocados nas duas faces da peça, de espessura 50 mm, madeira tipo J_3 ; $\alpha = 30^\circ$, $\theta = 15^\circ$ e $S = 100$ mm. A distância à borda e à extremidade são satisfeitas. (66).



Da tabela 22, com $\theta = 15^\circ$, $A = 152$ mm, $B = 95$ mm e

$S_{\min} = 89$

$$S_{st} = \frac{152}{\sqrt{1 + \left[\left(\frac{152}{95}\right)^2 - 1\right] \sin^2 30^\circ}}$$

$$K_S = 0,75 + 0,25 \left[\frac{100 - 85}{129 - 89} \right] = 0,819$$

pela tabela 19, $P = 933$ kg ; pela tabela nº 20 $K_\theta = 0,971$

$$N = P K_\theta K_S = 933 \cdot 0,971 \cdot 0,819 = 741,9 \text{ kg}$$

(65) - *Op. cit.* p. 370

(66) - *Op. cit.* p. 367

3 - ANÉIS METÁLICOS DESENVOLVIDOS NO LaMEM

3.1 - Introdução:

O estudo dos anéis metálicos para ligação de peças estruturais de madeira começou a se desenvolver no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos, em 1971, (67).

Os anéis apresentados na literatura internacional e principalmente os fabricados no E.E.U.U., são forjados ou laminados a quente em aço carbono. Importar estes anéis seria um demérito para a indústria, mas, fabricá-los exigiria um trabalho especializado seguido de toda a complicação de sua comercialização.

Pensou-se por isto, na utilização de anéis cortados de canos de água, galvanizados de 2 1/2 e 4 polegadas de diâmetro fig. nº 33.

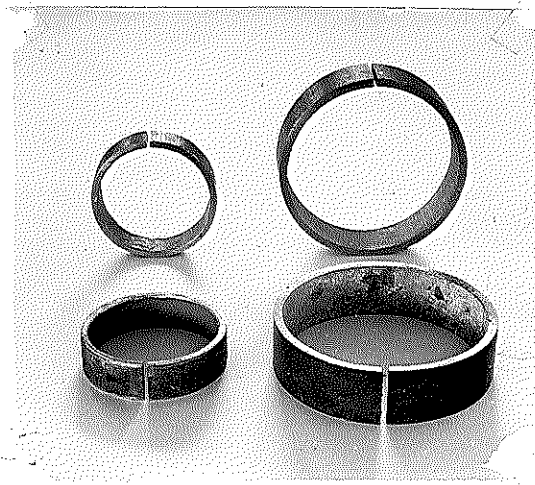


Fig. 33 - Anéis Metálicos Desenvolvidos no LaMEM

Em um segundo trabalho desenvolvido no LaMEM, em 1974 (68), iniciou-se a utilização de uma série maior de diâmetros ou seja: 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4, 5, 6, 7 e 8 polegadas de diâmetro.

(67) - ZURITA, Carlos E., DI BERNARDO, L.; RIZZO, Sergio A. - *Ligações entre peças estruturais de madeira - anéis metálicos.* São Carlos, EESC-USP, 1971.

(68) - BASSO, Luiz Ernesto - *Ligação de peças estruturais de madeira por anéis metálicos.* São Carlos, EESC-USP, 1976/77 (relatórios nºs 1, 2, 3 e 4).

A utilização dos anéis metálicos de grande diâmetro, a partir de 1974 permitiu o início de sua utilização no LaMEM, para solidarizar postes de madeira para construir vigas para pontes de madeira de grandes vãos e para o trem tipo mais pesado das Normas Brasileiras. (69).

A realização destes trabalhos, evidenciou sucessivamente as excelentes possibilidades dos anéis cortados de canos de água galvanizados e incentivou um estudo mais amplo da literatura disponível e a realização de experimentação mais completa para estabelecer os princípios de cálculo e as normas de utilização dos anéis metálicos.

Os anéis metálicos tem boas perspectivas de utilização por promoverem maior distribuição das tensões existentes na ligação de peças de madeira e menores deformações do que a ligação por parafusos.

3.2 - Tipos de Anéis Metálicos do LaMEM

Os anéis metálicos cortados de canos de água galvanizado estudados no LaMEM foram inicialmente partidos fig. n° 31. Houve entretanto interesse e oportunidade para o estudo de anéis bi-partidos e de anéis fechados, fig. n° 34.

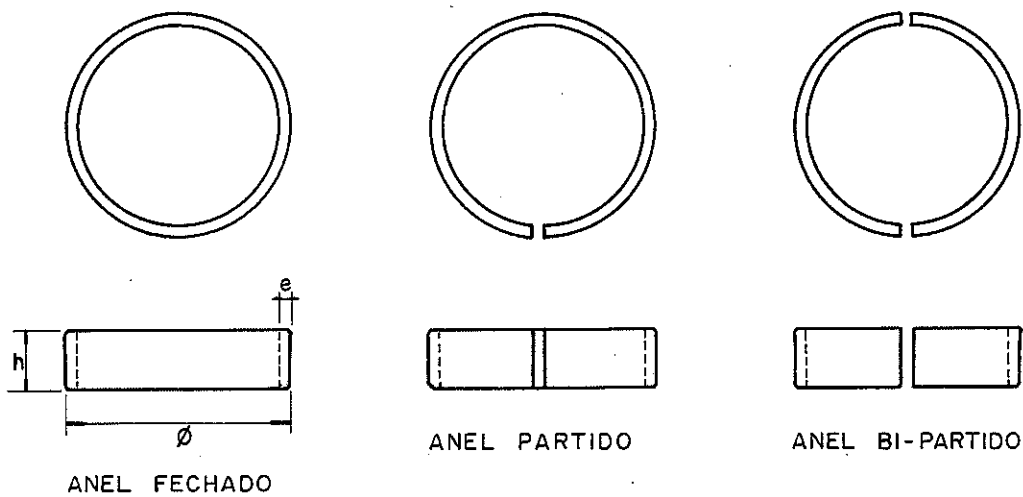


Fig. 34 - Tipos de Anéis Metálicos

(69) - HELLMEISTER, J.C. - Ponte Rodoviária - Estrada Ibitinga - Borborema: São Carlos, 1974.

3.2.1 - Anéis Fechados:

Os anéis fechados não apresentam corte lateral. A idéia de utilizar os anéis fechados surgiu com a necessidade de cobrejuntas de aço para ligação de peças submetidas a grandes esforços de tração fig. nº 35.

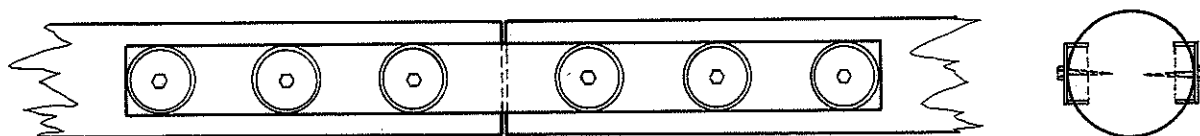


FIG. 35 - COBREJUNTA DE AÇO E ANÉIS FECHADOS

A principal dificuldade de utilização dos anéis fechados está na exigência de sulcos perfeitamente ajustados às dimensões dos anéis.

3.2.2 - Anéis Partidos

Os anéis metálicos mais comuns na literatura internacional são partidos. Os anéis partidos apresentam menor dificuldade de adaptação aos sulcos da madeira, mesmo quando estes não tenham diâmetro rigorosamente iguais aos dos anéis, fig. nº 36.

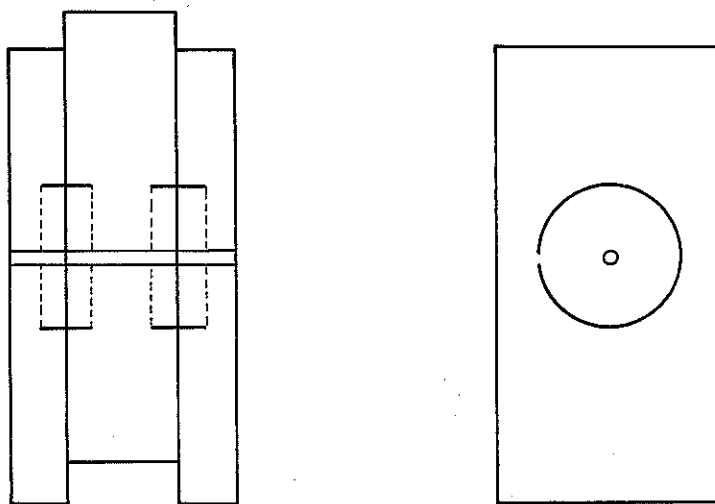


Fig. 36 - Esquema de Colocação dos Anéis Partidos

O anel aberto deve ser disposto no encaixe, de tal modo que o diâmetro que passa pela fenda fique normal à direção da força atuante.

3.2.3 - Anéis Bipartidos

Os anéis bipartidos foram estudados no LaMEM tendo em vista a comparação dos resultados experimentais deste estudo, com os resultados obtidos para os anéis fechados e para os anéis partidos, fig. nº 37.

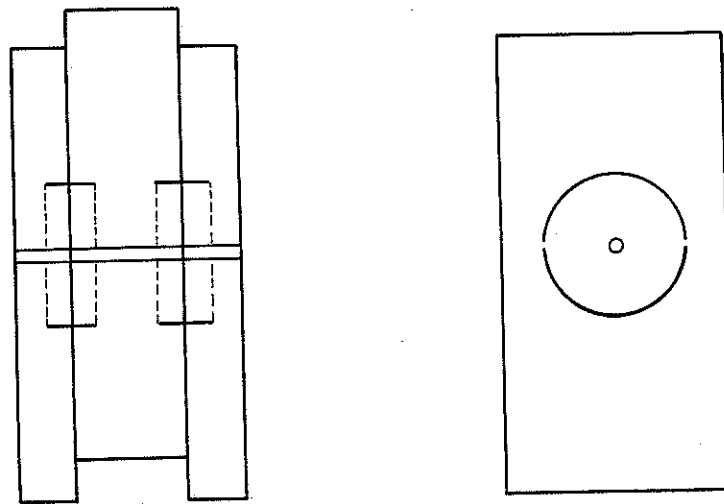


Fig. 37 - Esquema de colocação dos anéis bipartidos

3.3 - Função do Parafuso:

Além da função de união das cobrejuntas com a peça central o parafuso é uma peça essencial nas ligações com anéis pois o mesmo cria um binário de reação que se opõe à torção do anel por efeito das forças assimétricas que neles atuam, fig. nº 38.

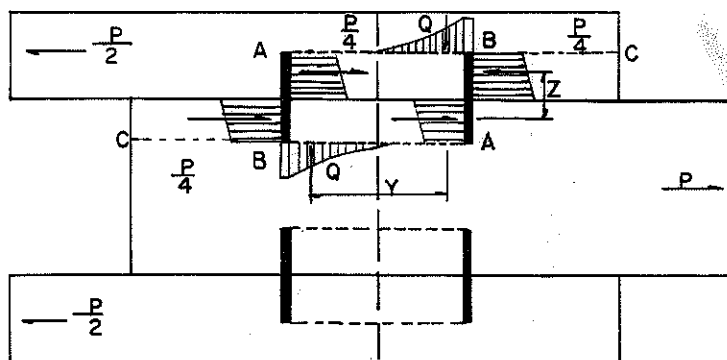


Fig. 38 - Distribuição de Tensões na Ligação por Anéis Metálicos (70).

(70) - MATEUS, Tomas J.E. - Bases para o dimensionamento de estruturas de madeira. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1962. 306 p.

As solicitações que se desenvolvem em torno da ligação por anéis tendem a se equilibrar e poder-se-ia considerar, em primeira aproximação, a igualdade dos momentos $P/4 \cdot z$ e $Q \cdot Y$.

A força $P/4$ é resultante do esforço principal das peças interligadas. A força Q é resultante da tendência de girar do anel e deve ser suportada pela cobrejunta e pelo parafuso.

Após melhor exame da distribuição das tensões devidas à força Q parece preferível a distribuição apresentada na fig nº 39, com alguma simetria em torno das paredes do anel, na região de maior solicitação.

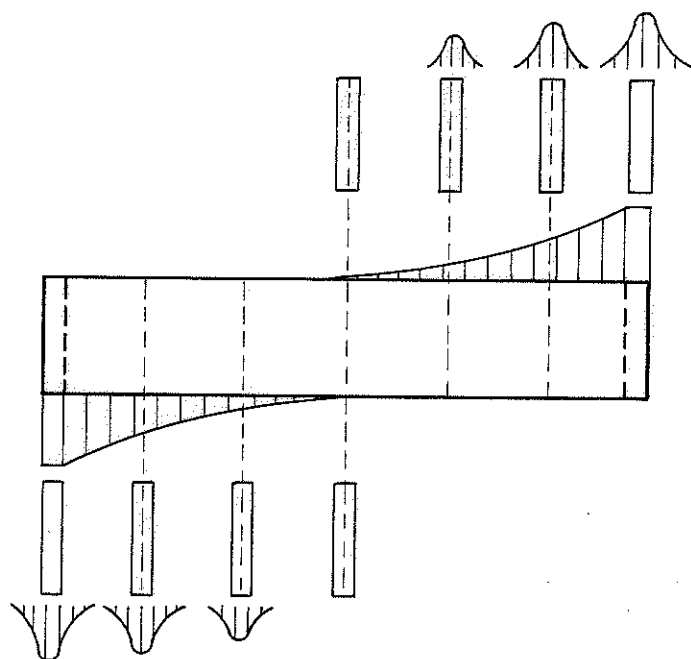


Fig. 39 - Distribuição de Tensões Perpendiculares às Fibras, Devidas às Torções dos Anéis Metálicos.

3.4 - Cisalhamento e Compressão Paralela

As forças $P/4$ produzem dois tipos de solicitação: uma compressão axial, a qual tende a esmagar a madeira nas paredes carregadas do encaixe em que o anel se aloja, e outra de cisalhamento, segundo superfícies paralelas às faces das peças nas quais se realiza a ligação.

Tanto num caso, como no outro, a distribuição de tensões originadas por estas forças é complexa, não sendo possível a aplicação da teoria da elasticidade na distribuição dos esforços, devido à ação recíproca entre a madeira e o metal, presença de irregularidade da própria madeira e sua heterogeneidade. Daí resulta a importância do estudo experimental.

Mesmo no modelo experimental é bastante complexa a interpretação e a determinação das áreas solicitadas e ainda mais complexa a determinação das tensões introduzidas nas ligações através dos anéis metálicos.

A área de cisalhamento pode ser avaliada considerando-se a disposição de anéis da figura nº 40.

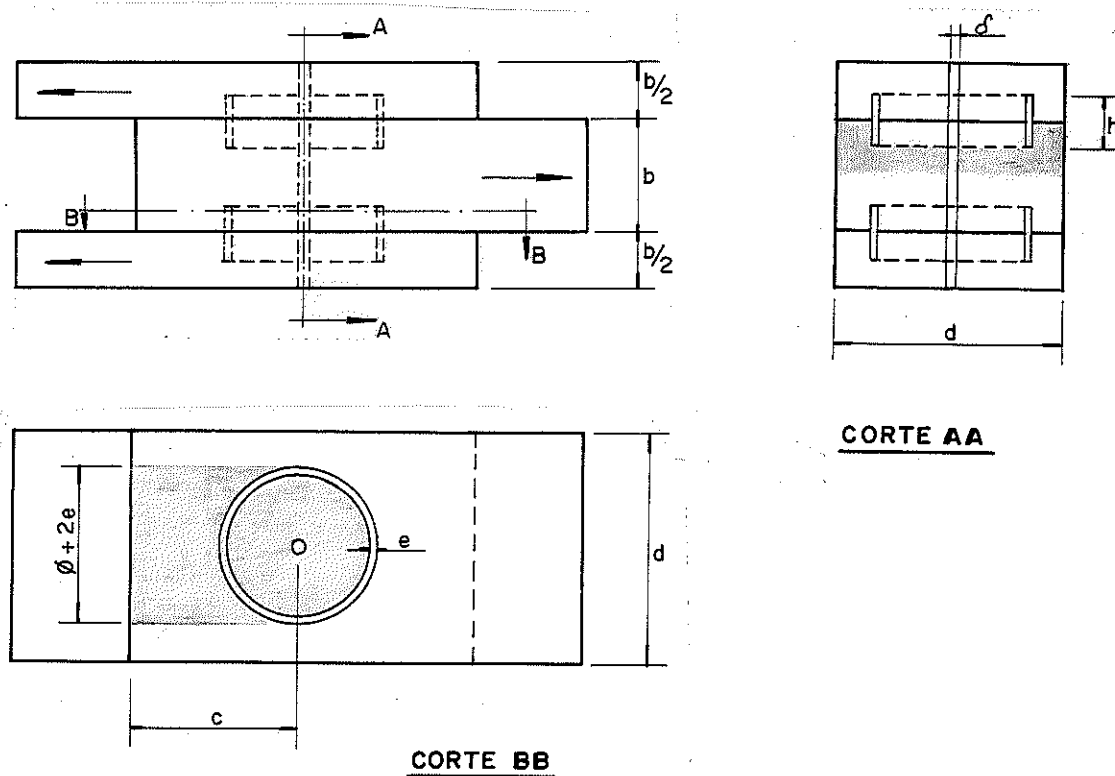


Fig. 40 - Áreas Sujeitas à Esforços

3.4.1 - Área de Cisalhamento, por anel:

$$A_{\text{cis}} = \frac{\pi \phi^2}{4} - \frac{\pi \delta^2}{4} + C (\phi + 2e) - \frac{1}{2} \frac{\pi (\phi + 2e)^2}{4}$$

Sendo δ e e pequenos em relação a ϕ pode-se adotar:

$$A_{\text{cis}} = \frac{\pi \phi^2}{4} + C \phi - \frac{1}{2} \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$A_{\text{cis}} = \frac{\pi \phi^2}{8} + C \phi$$

O valor de C pode ser obtido experimentalmente e deve existir um valor experimental K, tal que:

$$A_{\text{cis}} = K \frac{\pi \phi^2}{4}$$

3.4.2 - Área de Compressão, por Anel

$$A_{\text{comp}} = \frac{h}{2} \phi + \frac{h}{2} (\phi + 2e) + \delta \left(\frac{b-h}{2} \right)$$

Sendo δ e e pequenos em relação a ϕ pode-se adotar:

$$A_{\text{comp}} = \frac{h}{2} \phi + \frac{h}{2} \phi$$

$$A_{\text{comp}} = h \phi$$

3.4.3 - Área de Tração, por Anel

$$A_{\text{traç}} = \frac{b}{2} d - \frac{h}{2} (\phi + 2e) - \delta \left(\frac{b-h}{2} \right)$$

Sendo δ e e pequenos em relação a ϕ pode-se adotar:

$$A_{\text{traç}} = \frac{1}{2} (bd - h \phi)$$

esta seção corresponde à seção útil da madeira (por anel) para tração.

Para a análise experimental destinada a avaliação da capacidade de carga dos anéis fêz-se neste estudo a caracterização da madeira utilizada nos corpos de prova pela determinação de sua resistência à compressão, à tração, ao cisalhamento, de seu módulo de elasticidade, de sua densidade e de sua umidade na hora do ensaio.

3.4.4 - Dimensões e Capacidade de Carga dos Anéis Metálicos:

Admitindo-se o cisalhamento na madeira da área interna do anel, fig. nº 41, tem-se por anel, para a tensão de ruptura por cisalhamento:

$$P = \frac{\pi \phi^2}{4} \tau \text{ sendo:}$$

P = carga de ruptura

ϕ = diâmetro interno do anel

τ = tensão de cisalhamento

O carregamento do anel por solicitação paralela às fibras, por anel, e para a tensão de ruptura por compressão, fig. nº 42, será:

$$P = 2 \left(\frac{h}{2} \phi\right) \sigma_c = h \phi \sigma_c \text{ sendo:}$$

σ_c = Tensão de compressão paralela às fibras

h = altura do anel

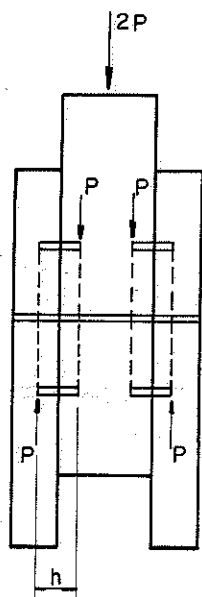


Fig. 41 - Cisalhamento

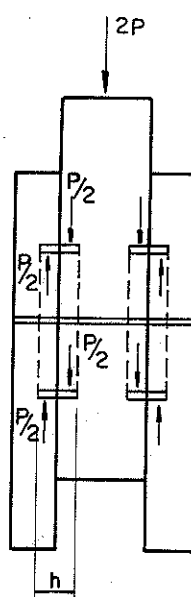


Fig. 42 - Compressão

Espera-se que a ruptura ocorra simultaneamente por cisalhamento e por compressão paralela. Adotando-se a capacidade de carga do anel pelo cisalhamento, pode-se calcular a altura mínima do anel utilizando-se em seguida a equação da capacidade de carga do anel pela compressão paralela ou seja:

$$P = \frac{\pi \phi^2}{4} \tau = h \phi \sigma_c \text{ ou } h = \phi \frac{\pi}{4} \frac{\tau}{\sigma_c}$$

TABELA nº 25

Madeira	σ_C	τ	h
Peroba rosa	425	121	$\phi/4,47$
Eucalipto citriodora	625	160	$\phi/5,29$
Pinho do Paraná	265	61	$\phi/5,53$
Massaranduba	647	166	$\phi/4,96$
Ipê	660	148	$\phi/5,67$
Valor Médio	-	-	$\phi/5$

A área útil da madeira resistente à tração e à compressão após a colocação do anel é:

$$A_{\text{comp}} = \frac{1}{2} (bd - \phi h)$$

A resistência à tração, após a colocação do anel é:

$$P_T = \frac{1}{2} (bd - \phi h) \sigma_T \text{ e pode ser:}$$

$$P_T = \phi h \cdot \sigma_C \text{ para um anel.}$$

Daí resulta:

$$\frac{\phi h}{bd} = \frac{n + 2}{2} \text{ onde:}$$

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_C} \text{ e } 1 < \frac{\sigma_T}{\sigma_C} < 3$$

A resistência à compressão, após a colocação do anel é:

$$P_C = \frac{1}{2} (bd - \phi h) \sigma_C \text{ e pode ser:}$$

$$P_C = \phi h \sigma_C \text{ para um anel.}$$

$$\text{Daí resulta: } \frac{\phi h}{bd} = \frac{1}{3}$$

3.4.5 - Altura Máxima do Anel

A penetração do anel não deve ultrapassar a metade da espessura da menor peça da ligação, tendo em vista garantir a resistência da peça mesmo após a colocação do anel, fig. nº 43.

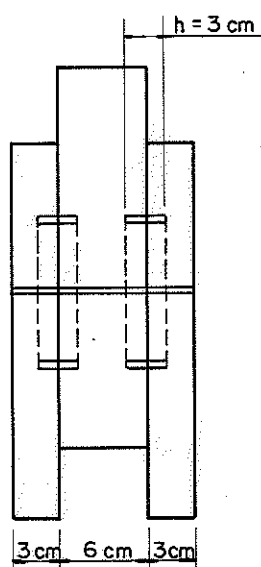


Fig. 43 - Altura Máxima do Anel

No corpo de prova tendo a peça central de dimensões 6 x 16 cm e as cobrejuntas 3 x 16 cm, a altura máxima do anel seria de 3 cm, ficando alojado 1,5 cm na peça central e 1,5 cm na cobrejunta.

3.5 - Encaixe do Anel

Para a execução do encaixe na madeira onde se aloja o anel, foi projetada e construída uma ferramenta especial. Trata-se de peça composta de um corpo principal, feito em aço 1020 (sem tratamento) executado em forma e dimensão, de modo a proporcionar o máximo de resistência e menor peso.

Como se pode observar na figura nº 44 o corpo principal foi projetado de maneira a permitir a realização de perfuração e encaixe para dois tipos de diâmetros de anéis 2 1/2 e 4 polegadas.

As facas para preparar o sulco para o encaixe dos anéis são feitas de aço liga para trabalho a fio tipo VW-1 (Villares) ou VN-B (Villares). Após a execução das facas com a geometria necessária para cavar o sulco do anel, faz-se em seguida o tratamento térmico, para recuperação das características do aço especial. Com as facas na parte externa do corpo principal, cava-se o sulco para encaixar o anel de 4 polegadas; na posição interna obtém-se o sulco para o anel de 2 1/2 polegadas.

No centro da peça principal é acoplada a broca, ajustada por uma bucha, para fazer o furo central, por onde passará o parafuso de união das peças. Essa broca serve de guia para a preparação do sulco do anel.

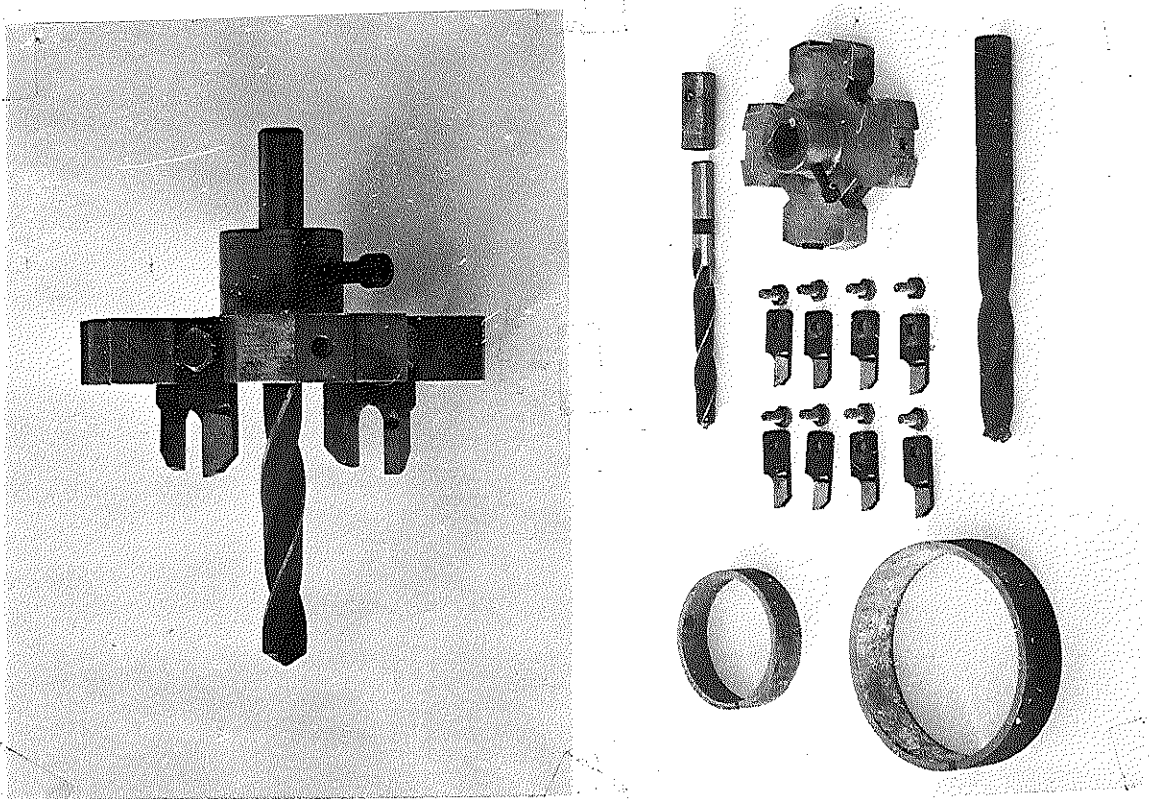


Fig. 44 - Ferramenta para Preparação dos Sulcos para Encaixe dos Anéis.

Tem-se na fig. nº 45 vistas da perfuração e preparação de sulco para inclusão de anel metálico.

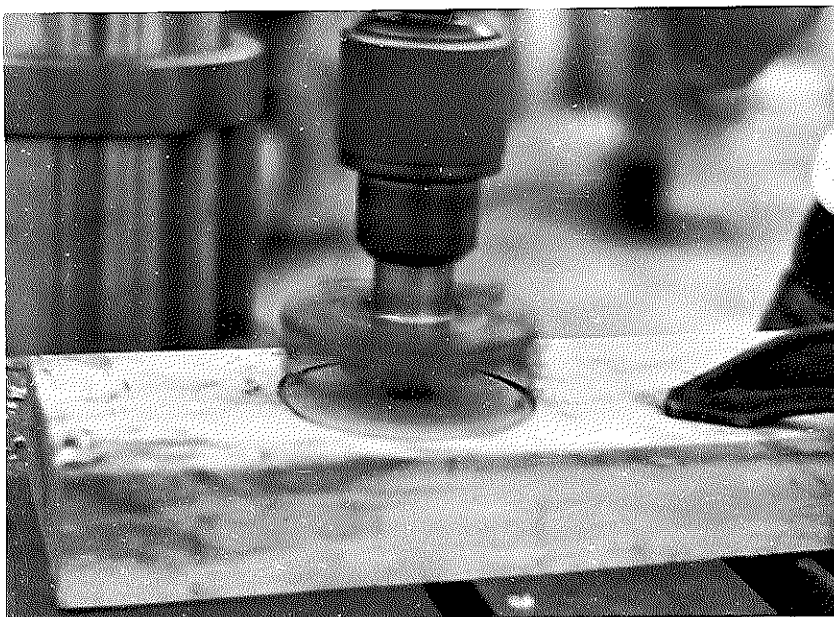
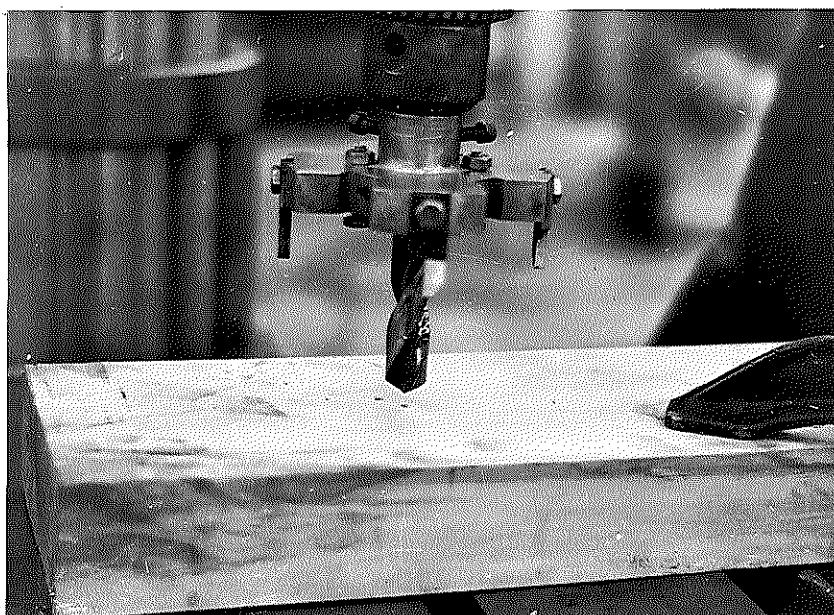


Fig. 45 - Perfuração e Preparação dos Sulcos para Encaixe do Anel.

Na fig. nº 46 é apresentado o desenho para a fabricação da ferramenta para preparação de furo e sulco para os anéis de 2 1/2 e 4" e na fig. nº 47 para os anéis de 3" e 5".

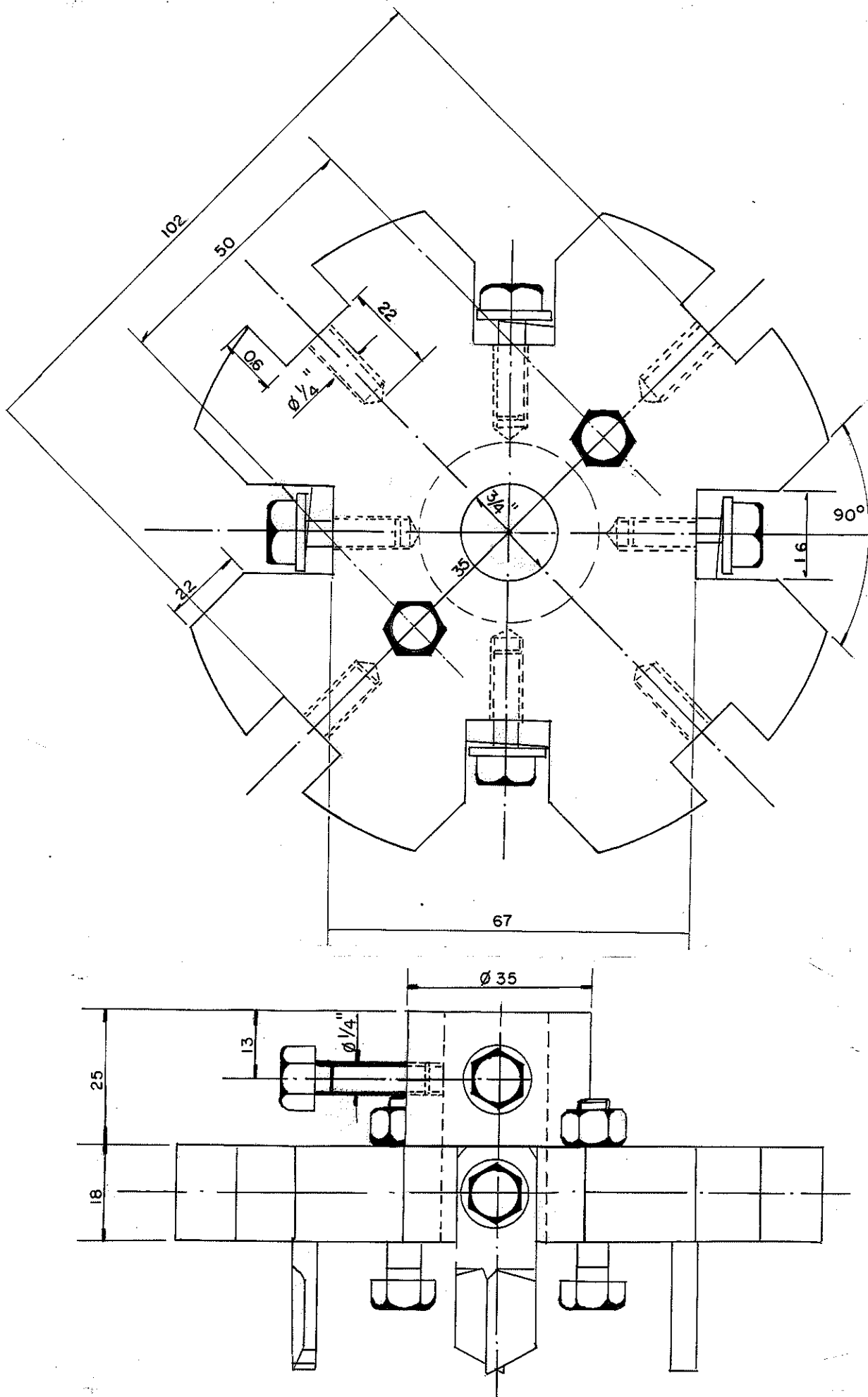


Fig. 46 - Dispositivo para 2 1/2" e 4".

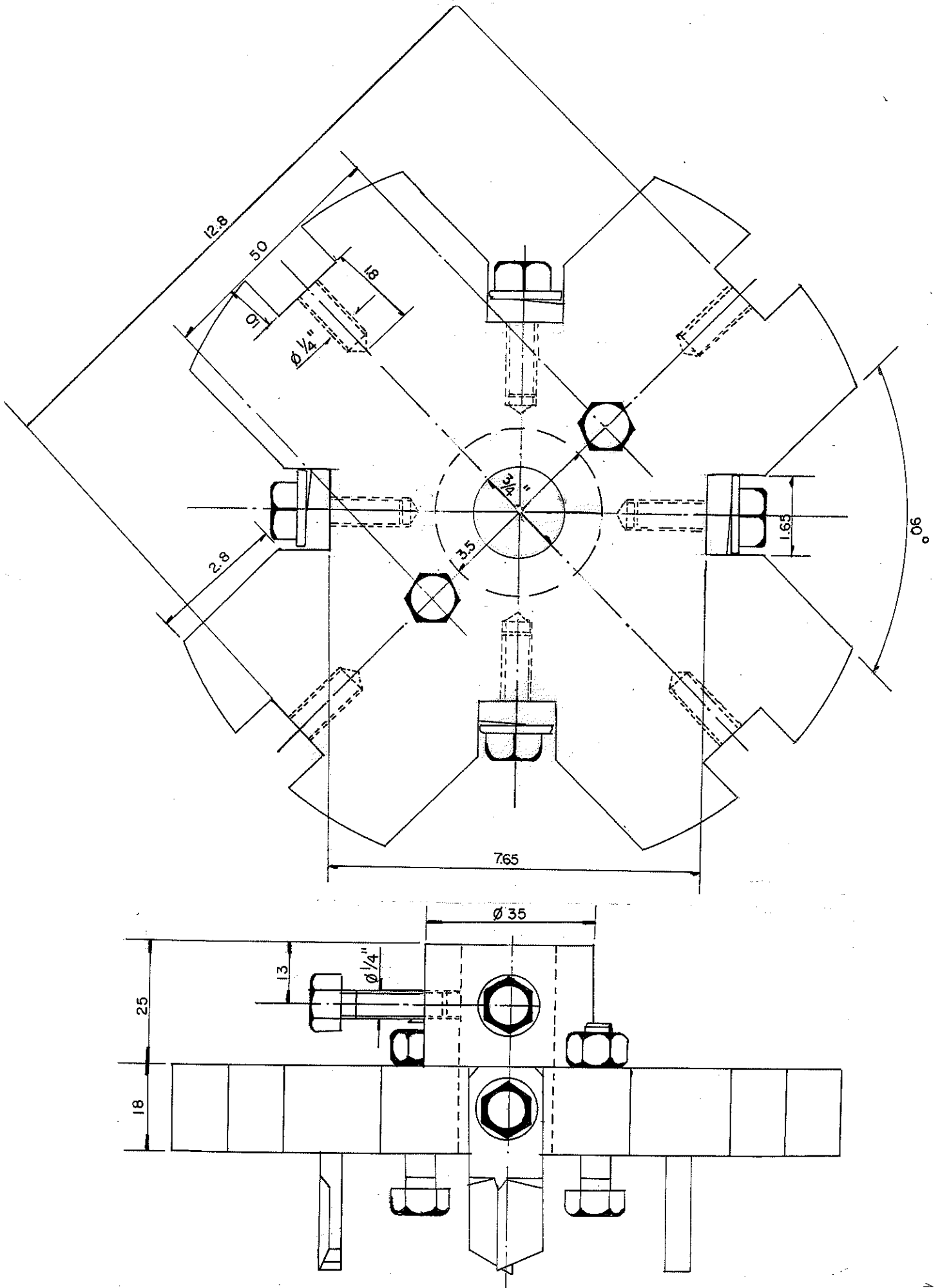


Fig. 47 - Dispositivo para 3" e 5"

3.6 - Fatores que Influem na Capacidade de Carga dos Anéis

Considerando que os anéis estejam perfeitamente adaptados em seus sulcos, além do valor do diâmetro e da altura do anel, os fatores que mais influem na sua capacidade de carga são a umidade, a densidade e a velocidade de aplicação de carga.

3.6.1 - Influência da Umidade:

O problema da umidade é muito significativo na madeira. A árvore recentemente derrubada costuma apresentar umidade muito elevada variando de 40 a 140%, conforme a espécie. A umidade ideal para utilização estrutural é a de equilíbrio com as condições do ambiente, que oscila em torno do valor 12%, sendo a madeira com essa umidade considerada como seca ao ar. Nas tabelas do I.P.T, este nível é dado à 15%

A utilização de madeira com umidade muito acima deste ideal provoca o problema da retração devido à perda de umidade, surgindo rachaduras nas peças. Por outro lado caso a madeira seca ao ar seja molhada em serviço pode ocorrer inchamento prejudicial à estrutura.

De maneira geral, há um aumento de capacidade de carga de ruptura do corpo de prova com a redução da umidade.

Para este estudo a umidade foi tomada na região da ligação, retirando-se um pedaço da peça de madeira, logo após à ruptura, determinando-se a umidade por processo convencional.

$$U = \frac{M_i - M_0}{M_0} \cdot 100\%$$

3.6.2 - Influência da Densidade

A densidade aparente, para madeira verde, só pode ser estável para peças submersas; para madeira completamente seca a densidade só poderia ser estável para peças mantidas em ambiente cuja umidade relativa seja também nula.

Assim, tem-se um valor médio estável de densidade aparente da madeira seca ao ar, isto é de 12 a 15% de umidade.

Neste estudo, retirou-se um pedaço de madeira do corpo de prova logo após o ensaio para medir a umidade, calculando-se também a densidade aparente pelo fórmula:

$$\gamma = \frac{M_{\eta}}{V_{\eta}}$$

onde:

M_{η} é a massa e V_{η} volume na umidade de ensaio.

Assim sendo é mais racional adotar a determinação da densidade para madeira com umidade de equilíbrio ao ar. Tendo-se a densidade da madeira por exemplo: a 12% de umidade, para se obter densidade da madeira contendo outros teores de umidade, a conversão de valores torna-se fácil, utilizando-se o diagrama de Kollmann, adotado pela DIN para ajustar os valores umidade-densidade, gráfico nº 19.

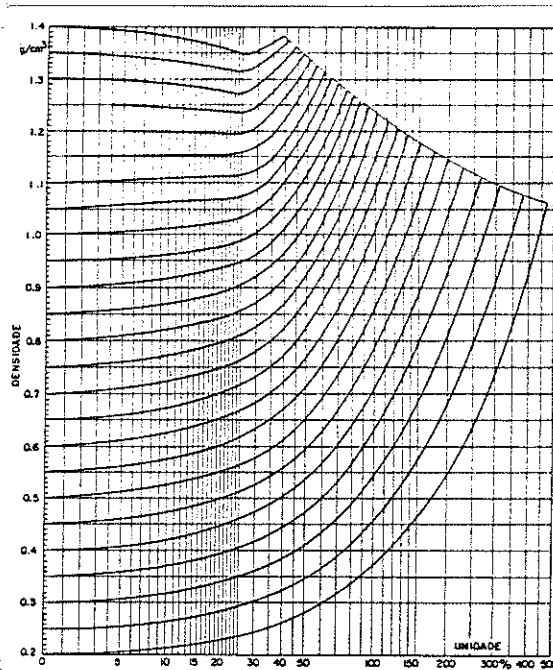


GRÁFICO 19

3.6.3 - Influência da Velocidade de Aplicação de Carga:

Considerando a característica natural da madeira de apresentar resistência maior quando as cargas são aplicadas rapidamente procura-se executar os ensaios com velocidade controlada.

O Forest Products Laboratory apresenta o diagrama figura nº 48 no qual se evidencia o aumento de resistência da madeira para cargas rápidas.

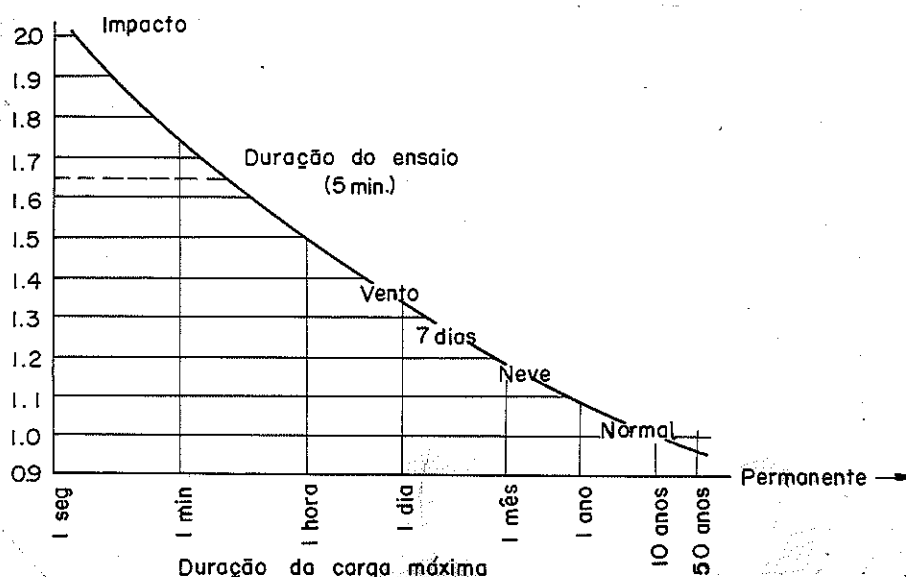


Fig. 48 - Velocidade de Aplicação da Carga

Nos métodos de ensaio do IPT é indicada a velocidade de aplicação de carga de $100 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{m}$, resultando para um corpo de prova de seção $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ o tempo de 3 a 5 minutos por ensaio.

Procurou-se nos ensaios realizados neste estudo acompanhar este padrão.

3.7 - Descrição dos Ensaios dos Corpos de Prova

Para o levantamento de dados relativos à capacidade de carga dos anéis metálicos, adotou-se desde o início desse estudo o modelo de corpo de prova mais simples possível, constituído por uma peça central e duas cobre-juntas. Fig. nº 49.

Este tipo de corpo de prova presta-se para ensaios de compressão paralela. Entretanto estes corpos de prova não indicam a resistência dos anéis à tração paralela. Para este caso adotou-se a montagem de um corpo de prova especial simulando uma pequena tesoura. Fig. nº 50.

Para a preparação destes dois corpos de prova é necessária uma viga de $6 \times 16 \text{ cm}$ para os anéis de 5" (12 cm) ou de $6 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ para os anéis de 2 1/2" (6,35 cm) a 4" (10,1 cm).

De cada uma destas vigas são tirados corpos de prova para a determinação da tensão de ruptura por compressão e por cisalhamento, umidade e densidade da madeira da viga.

Fêz-se mais frequentemente a determinação destas características utilizando amostras dos corpos de prova ensaiados.

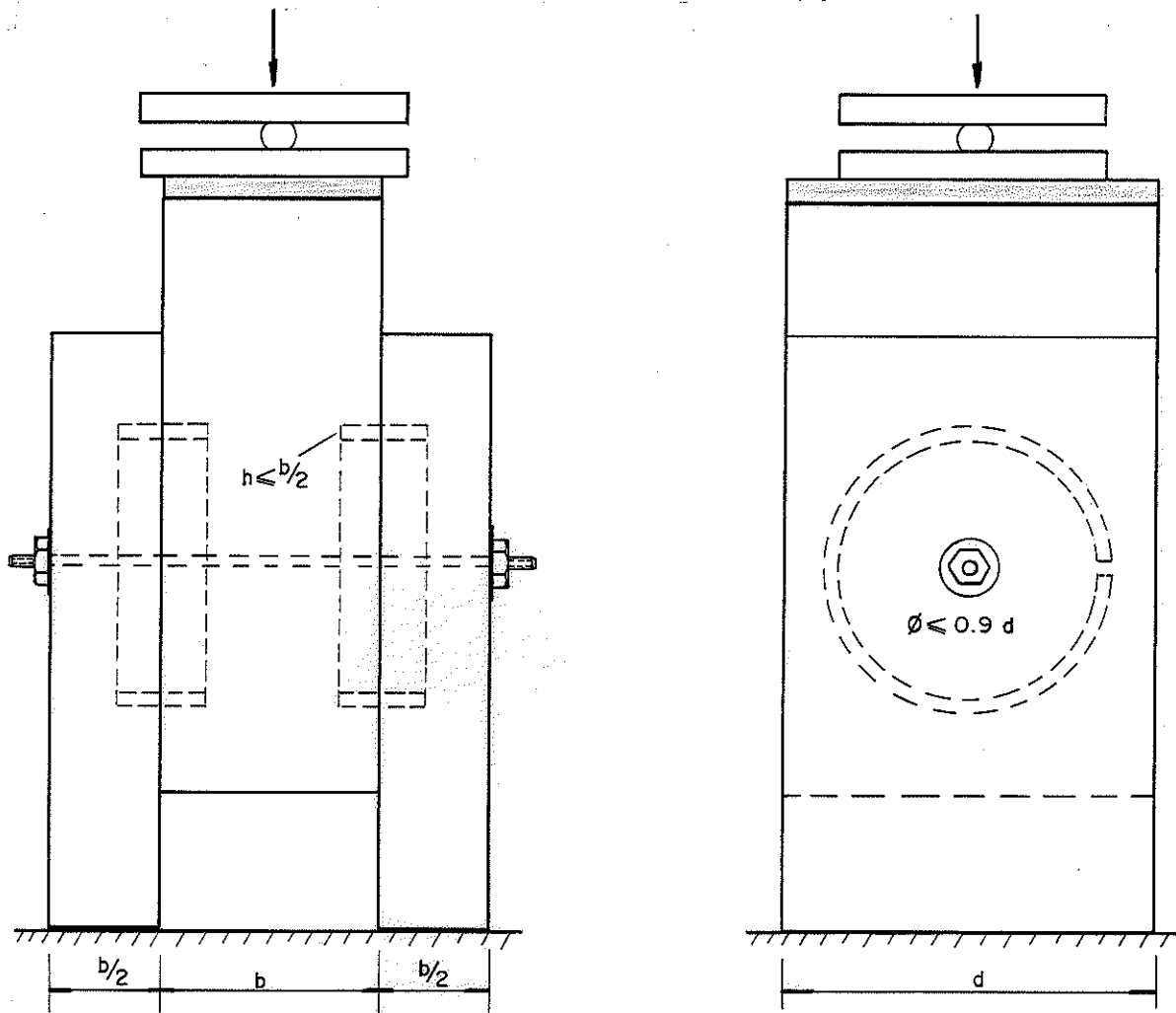


Fig. 49 - Corpo de Prova de Compressão Paralela

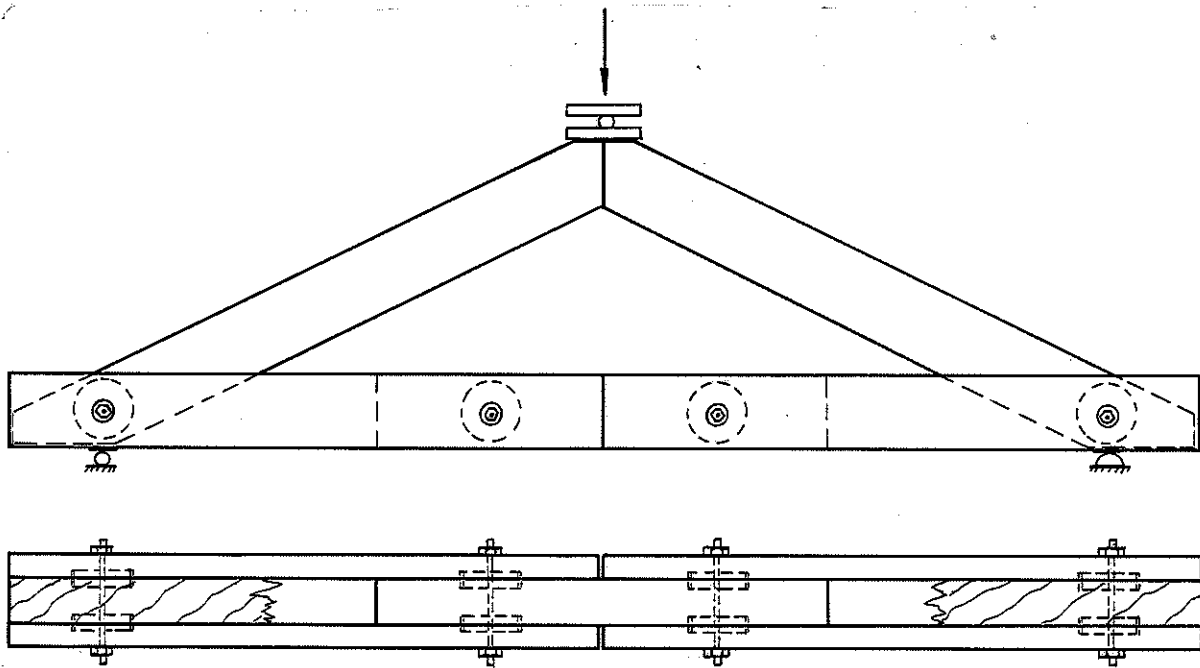


Fig. 50 - Corpo de Prova de Tração Paralela

3.8 - Seleção da Madeira

Inicialmente foram selecionadas 10 vigas, ao acaso, em serrarias diferentes. Em cada serraria foi feito um ensaio rudimentar de flexibilidade das vigas, numa tentativa de selecionar três ou quatro vigas sendo cada uma de flexibilidade diferente.

Nestas condições obtiveram-se vigas com módulo de elasticidade diferente e resistência diferente. A coleta de vigas em várias serrarias tem em vista, permitir seleção de madeira proveniente de árvores diferentes e até de regiões diferentes.

Tem-se desta maneira um caráter de amostragem ocasional e uma tendência de alcançar a distribuição normal das características da madeira e dos resultados dos ensaios.

Caso a madeira fosse proveniente de uma região ou de uma única árvore, a amostra seria viciada.

As primeiras dez vigas obtidas foram numeradas e cada uma delas, já no Laboratório, foi submetida à classificação pelo ensaio não destrutivo de flexão, através do qual tiramos o módulo de elasticidade na flexão da viga fig. 51.

$$\Delta f = \frac{\Delta P}{P} \frac{a (3l^2 - 4a^2)}{24 E J}$$

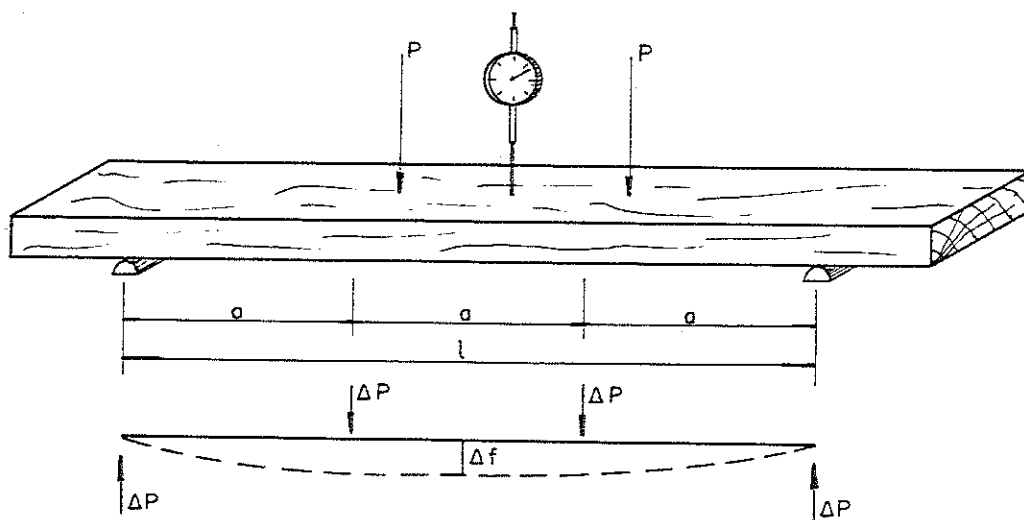
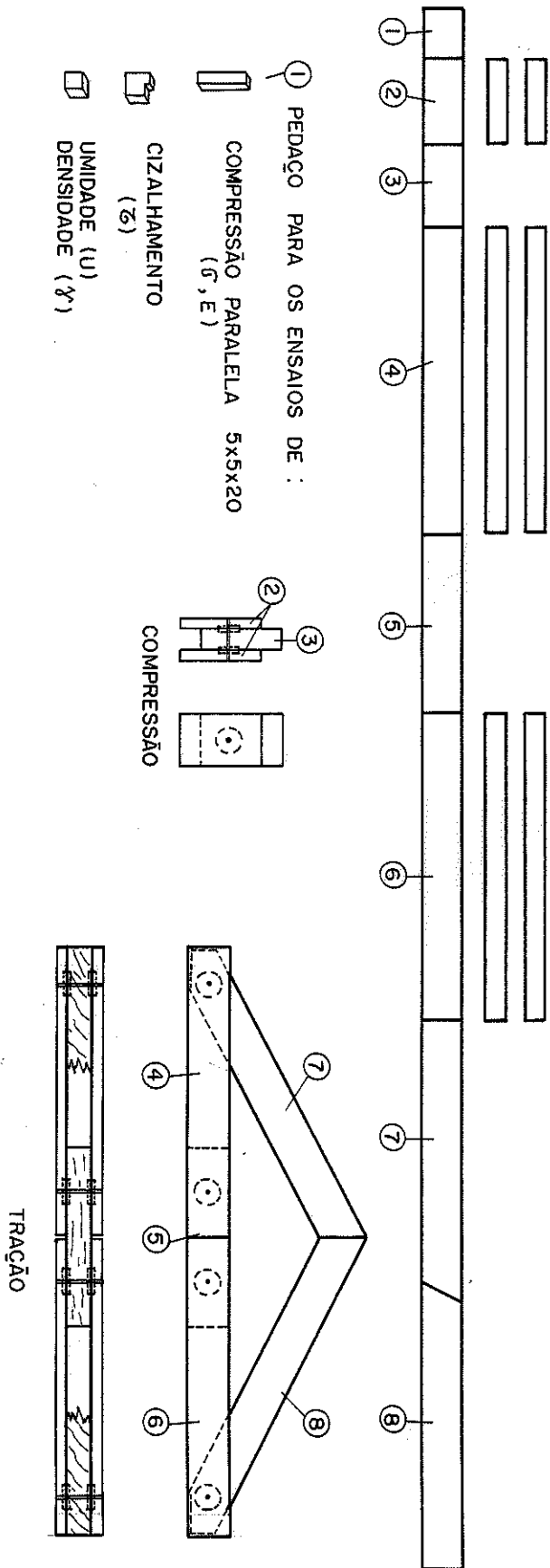


Fig. 51 - Ensaio não Destrutivo de Flexão

Fig. 52 - Esquema de Corte das Vigas para Montagem dos Corpos de Prova



3.9 - Ligação de Compressão:

3.9.1 - Anéis de 3" de Diâmetro:

Numa primeira fase, para o estudo dos anéis de 3 polegadas, a madeira utilizada foi a Peroba Rosa e o tipo de ensaio foi o de compressão.

A fig. nº 52 mostra a divisão das vigas. Tomando-se um pedaço como sendo a parte central do corpo de prova com dimensões 6 x 12 cm e comprimento 18,6 cm, o outro pedaço é dividido ao meio para servir de cobrejunta da ligação, ficando com as dimensões 3 x 12 cm, comprimento igual a 18,6 cm e a altura do anel igual a 3 cm, isto é, utilizando até 50% da peça de menor espessura, fig. nº 53.

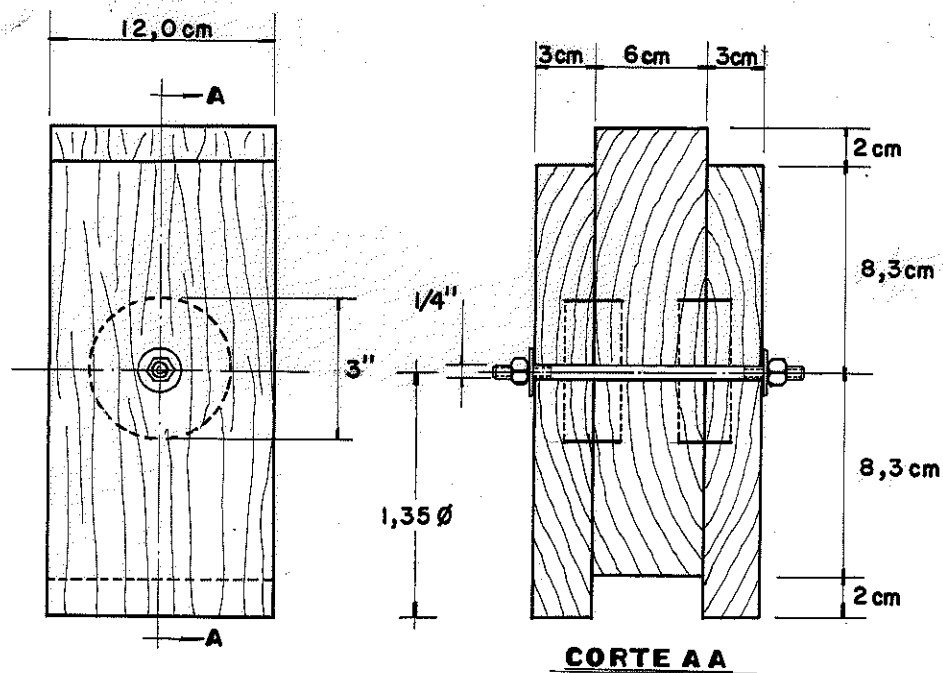


Fig. 53 - Compressão - Anéis de 3"

Os anéis de 3" tem espessura igual a 3 mm. Neste caso as facas para preparação dos sulcos de encaixe foram fabricadas com 0,1 mm a mais, para melhor adaptação, devido à rugosidade dos anéis. Para sua colocação no sulco feito nas peças a serem ligadas, recorre-se ao auxílio de um martelo de madeira, cujo impacto não afete as peças. Caso isto ocorresse, estaria sendo danificado o corpo de prova.

O parafuso utilizado para a união transversal das peças do corpo de prova, tem o menor diâmetro possível, 1/4 de polegada. Para que o mesmo não tivesse nenhuma colaboração na capaci-

dade de carga do anel, faz-se o furo do corpo de prova com uma certa folga, utilizando uma broca de diâmetro 5/16". Nestas condições presume-se que todo o carregamento elástico será absorvido apenas pelos anéis.

Outro fator importante são as arruelas colocadas nas extremidades do parafuso de união. Para isso foram utilizadas arruelas especiais com diâmetro interno de 1/4 de polegada e diâmetro externo de 1 polegada. Se fossem usadas arruelas de 1/4", comuns, seu diâmetro externo seria muito pequeno, pois a deformação entre uma parte e outra da ligação do corpo de prova na fase de ruptura introduz esforço axial no parafuso, daí resultando pressão elevada da arruela na madeira, esmagando-a naquela região. Aumentando-se a área desta arruela, pretendeu-se reduzir este esmagamento nas cobrejuntas.

Para a leitura das deformações, foram utilizados dois relógios comparadores de 0,01 mm, um em cada face do corpo de prova, durante a aplicação das cargas, para se determinar a deformação média.

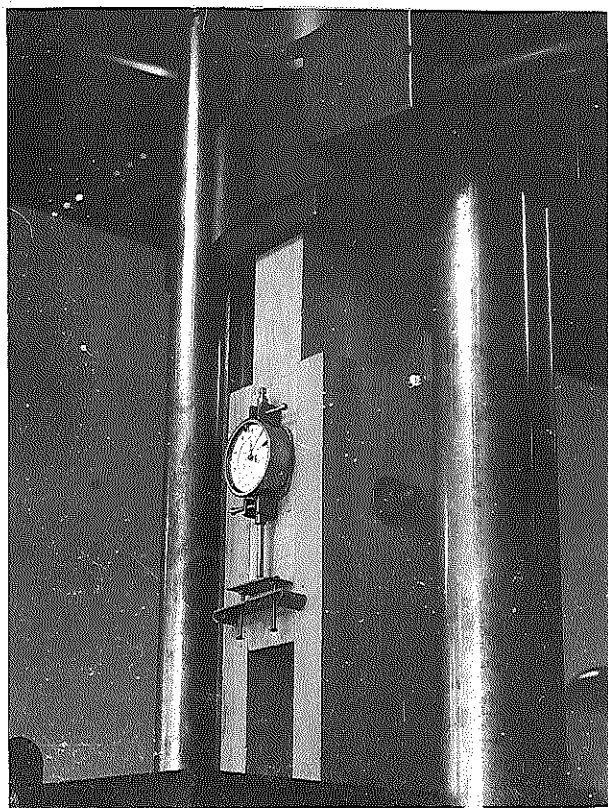


Fig. 54 Ensaio de Compressão

Alguns ensaios foram realizados na máquina Universal Amsler, de 25 toneladas de carga máxima, fig. nº 54.

Para a maioria dos ensaios, foi montado no LaMEM um dispositivo especial, utilizando um cilindro hidráulico com capacidade de 45 t, fixo em um quadro de reação, tendo um anel dinamo métrico para medir a carga, uma mesa de apoio para o corpo de prova e uma junta tipo universal, colocada acima do corpo de prova, fig. nº 53.

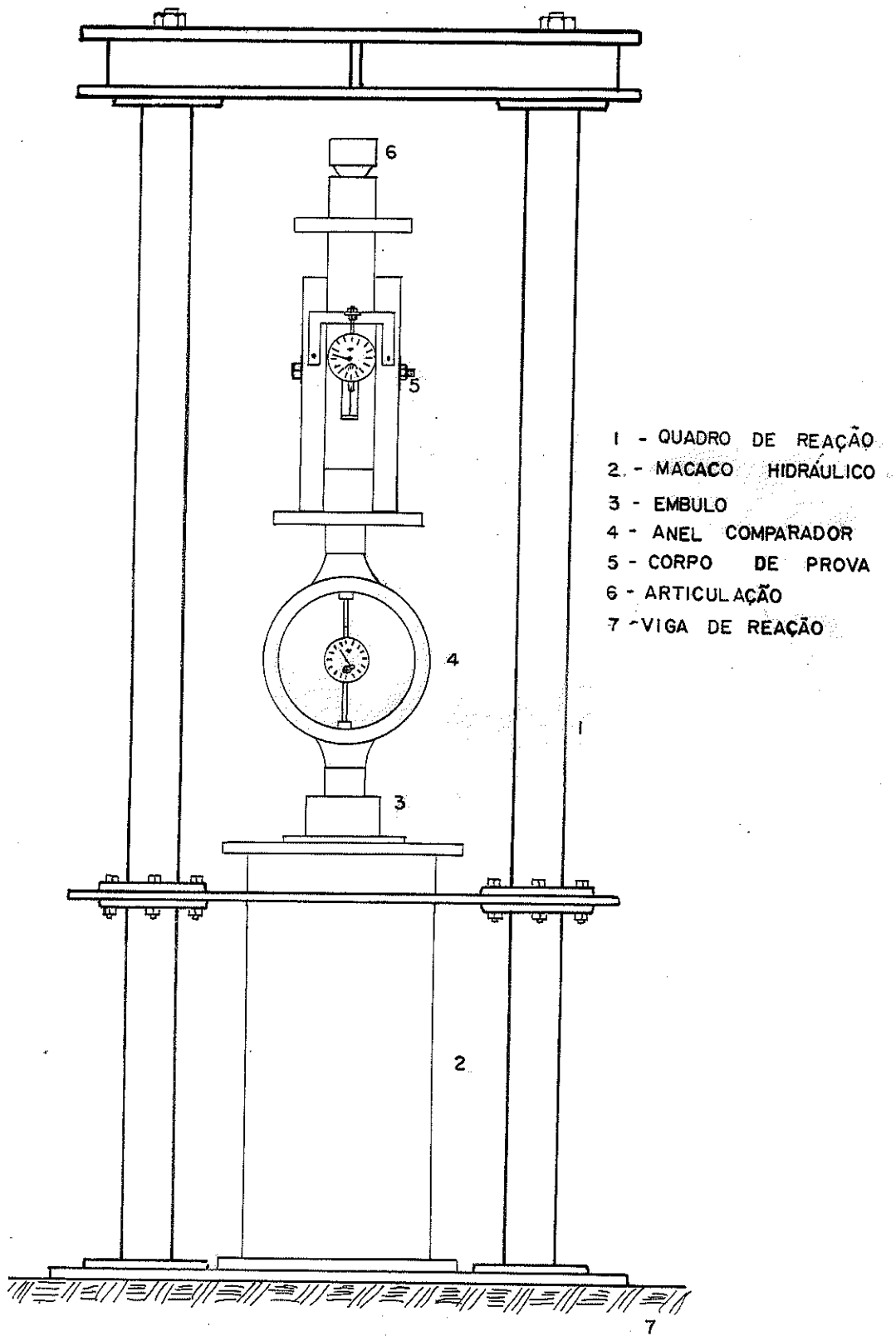


Fig. 55 - Dispositivo de Ensaio de 45 t.

Com madeira tirada das dez vigas, foram preparados dez corpos de prova de compressão ligados por anéis de 3", realizaram-se os ensaios, obtendo-se os resultados apresentados na tabela nº 26.

TABELA nº 26 - Resultados dos Ensaios de Compressão com Anéis de 3 Polegadas

VIGAS	UMIDADE %	DENSIDADE g/cm ³	σ_c kg/cm ²	τ kg/cm ²	MÓDULO DE ELASTICIDADE kg/cm ²	RUPTURA POR ANEL kg
1	18,9	0,84	497	164	108000	5450
2	13,7	0,77	530	159	123514	6375
3	13,1	0,76	520	184	119300	5650
4	13,7	0,77	682	195	135456	6460
5	13,5	0,79	512	198	104452	6000
6	13,1	0,88	735	201	129500	6212
7	14,1	0,77	520	149	114200	4600
8	13,2	0,74	488	164	118000	5744
9	12,9	0,96	581	205	141952	8000
10	12,9	0,91	694	178	154189	7338
MÉDIA	13,9	0,82	575	180	123827	6183

Na figura nº 56 pode-se ver um corpo de prova de compressão logo após a ruptura com a parte interna dos anéis completamente cisalhada.

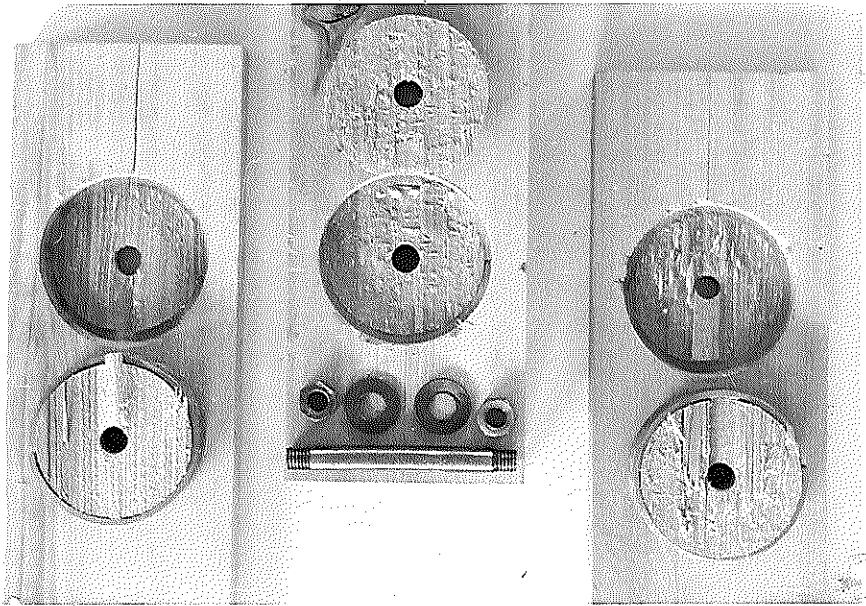


Fig. 56 - Ruptura por Cisalhamento

Os valores de umidade e densidade apresentados na tabela nº 26 foram determinados utilizando-se amostras retiradas dos corpos de prova correspondentes após o ensaio.

De cada viga foi separado um pedaço de madeira para ensaios de compressão paralela e de cisalhamento, figura nº 52.

Nos corpos de prova de compressão paralela, cortados com dimensões 5 x 5 x 20 cm, foram instalados dois relógios comparadores de milésimo de milímetro, em faces opostas, para medir as deformações, indispensáveis para calcular o módulo de elasticidade da madeira ensaiada, fig. nº 57.

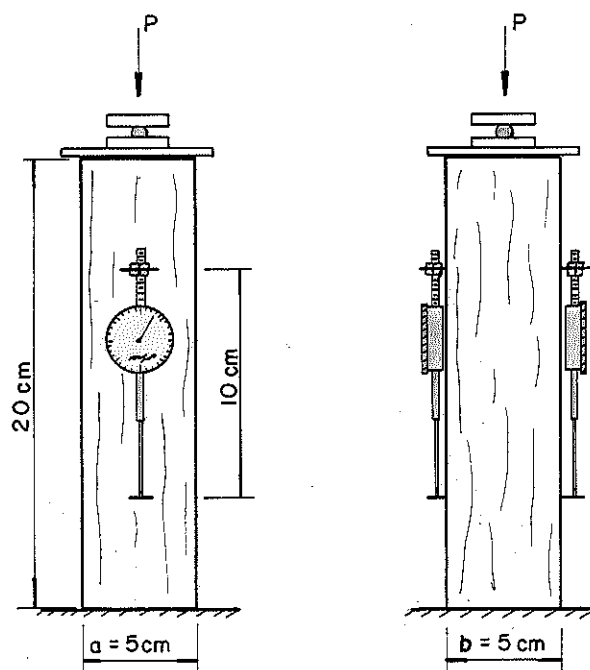


Fig. 57 - Compressão Paralela (Ensaio do Material)

Os corpos de prova de compressão paralela foram ensaiados no equipamento montado no LaMEM, tendo-se as cargas no anel dinamométrico de 20 em 20 divisões, cada divisão correspondendo a 33,13 kg.

Quando a diferença entre deformações deixa de ser constante, está sendo ultrapassado o limite de proporcionalidade, retiram-se os relógios, prosseguindo o carregamento até a ruptura. Tomando a carga de ruptura e dividindo-a pela área do corpo de prova, tem-se a tensão de ruptura à compressão paralela às fibras. Tomando-se a carga no limite de proporcionalidade e calcula-se a tensão limite de proporcionalidade.

A deformação média Δl no limite de proporcionalidade é utilizada na determinação do módulo de elasticidade E.

Tem-se como exemplo o resultado do ensaio de compressão paralela do corpo de prova nº 2, da tabela nº 26. a tabela nº 27.

TABELA nº 27 - Ensaio de Compressão Paralela

DIVISÕES	CARGA kg	LEITURA Relógio 1 $\frac{\text{mm}}{1000}$	LEITURA Relógio 2 $\frac{\text{mm}}{1000}$	MÉDIA Leitura $\frac{\text{mm}}{1000}$	DIFERENÇA das Médias $\frac{\text{mm}}{1000}$	Σ DAS difer. $\frac{\text{mm}}{1000}$
0	0	0	0	0	0	0
20	662,6	30,0	5,0	17,5	22,0	22,0
40	1325,2	70,0	10,0	40,0	22,5	44,5
60	1987,8	105,0	15,0	60,0	20,0	64,5
80	2650,4	140,0	25,0	82,5	22,5	87,0
100	3313,0	170,0	35,0	102,5	20,0	107,0
120	2975,6	200,0	50,0	125,0	22,5	129,5
140	4638,2	230,0	60,0	145,0	20,0	149,5
160	5300,8	260,0	75,0	167,5	22,5	172,0
180	5963,4	290,0	90,0	190,0	22,5	192,5
200	6626,0	315,0	105,0	210,0	20,0	212,5
220	7288,6	345,0	120,0	232,5	22,5	235,0
240	7951,2	375,0	140,0	257,5	25,0	260,0
260	8613,8	415,0	165,0	290,0	32,5	292,5
280	9276,4	455,0	190,0	322,5	32,5	325,0
300	9939,0	495,5	220,0	357,5	35,0	360,0
320	10601,6	540,0	265,0	402,5	45,0	405,0
340	11264,2	590,0	335,0	462,5	60,0	465,0
380	12589,4	Ruptura				

$$\sigma_{\ell P} = \frac{P}{S} = \frac{7951,2}{5 \times 5} = 318 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_C = \frac{P}{S} = \frac{12589,4}{5 \times 5} = 530 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{260,0}{100000} = 0,0026$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{318}{0,0026} = 123514 \text{ kg/cm}^2$$

Para o cálculo da tensão de cisalhamento da viga em estudo, faz-se o ensaio de um corpo de prova da madeira do ensaio com os anéis, fig. nº 58.

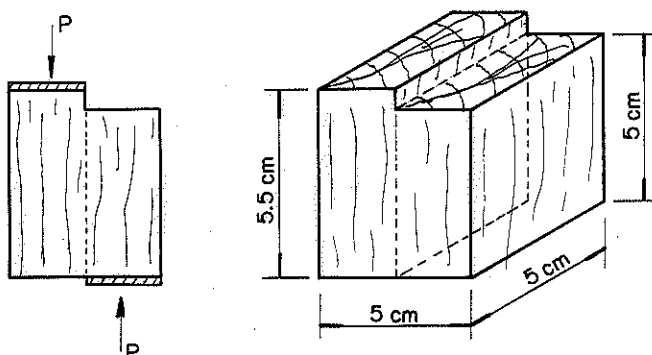


Fig. 58 - Corpo de Prova de Cisalhamento

Mede-se a área sujeita ao cisalhamento com um paquímetro e submete-se o corpo de prova ao carregamento até a ruptura. Dividindo-se a carga de ruptura P pela área S tem-se a tensão τ de cisalhamento, para uma dada unidade tabela nº 26.

$$\tau = \frac{P_{rup}}{S}$$

Depois de realizados todos estes ensaios, comprovou-se em primeira comparação, a validade da classificação preliminar das vigas através dos ensaios pelo método não destrutivo.

3.9.2 - Anéis de 4" de Diâmetro

Numa segunda fase foram selecionadas outras 10 vigas de Peroba Rosa com dimensões 6x12 cm, para o estudo dos anéis de 4". Estas vigas foram submetidas ao mesmo tipo de escolha e ensaios preliminares de classificação. Seguiu-se o mesmo processo

na divisão da viga, para a montagem dos corpos de prova com anéis de 4", para a ligação de compressão e de tração paralela às fibras, fig. nº 52.

Tomando-se os dois pedaços da viga com dimensões 6 x 12 cm e comprimento igual a 25 cm, divide-se um dos pedaços ao meio para servir de cobrejunta ficando com as dimensões 3 x 12 x 25 cm, montaram-se os corpos de prova de compressão paralela com os anéis de 4", fig. nº 59.

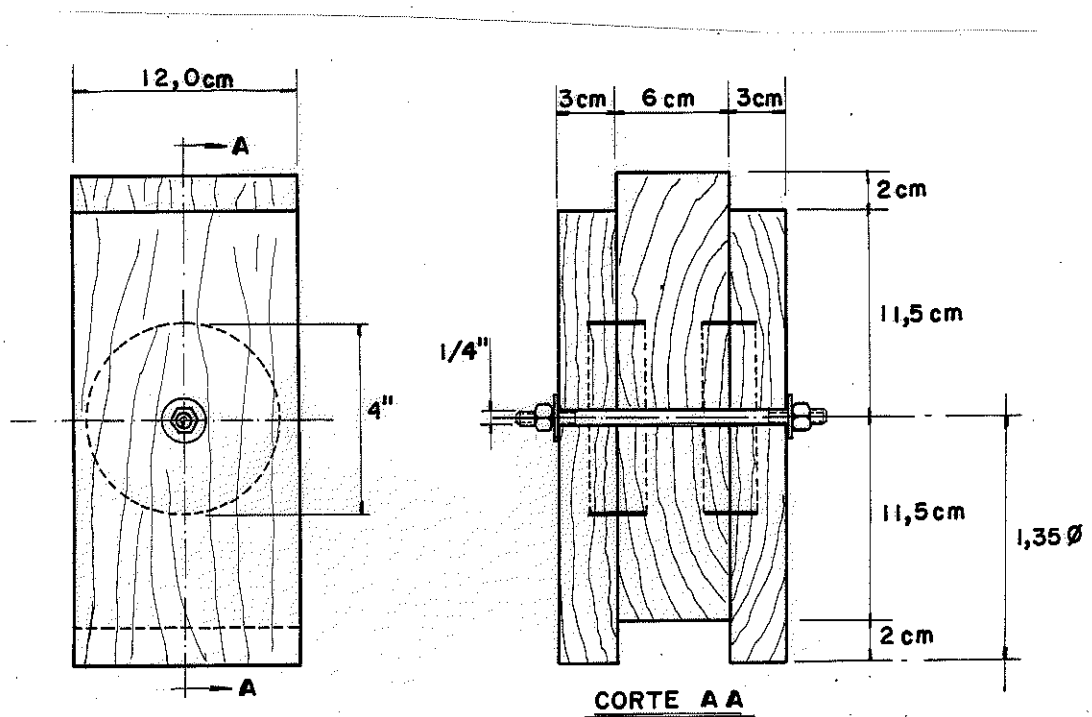


Fig. 59 - Compressão Anéis de 4"

O parafuso utilizado para a união transversal foi de 1/4" e o furo para o mesmo de 5/6" para evitar sua influência na fase elástica do ensaio.

O anel de 4", espessura de 0,4 cm, foi cortado com altura de 3 cm.

A distância do centro do anel até a extremidade comprimida foi adotada em função do seu diâmetro, como sendo 1,35 ϕ .

Realizados os ensaios de cisalhamento, compressão paralela e feita a determinação da umidade e da densidade dos corpos de prova de compressão obteve-se a tabela de resultados, tabela nº 28.

TABELA nº 28 - Resultados do Ensaio de Compressão com Anéis de 4 Polegadas

VIGA	UMIDADE %	DENSIDADE g/cm ³	σ_C kg/cm ²	τ Kg/cm ²	MÓDULO DE ELASTICIDADE kg/cm ²	RUPTURA 1 Anel kg
11	33,3	0,89	424	150	120893	8465
12	33,4	0,85	447	135	98098	8325
13	33,7	0,95	311	127	62653	7570
14	64,6	1,08	478	117	105047	7620
15	27,4	0,82	389	115	104955	8448
16	37,3	1,05	396	142	95376	8680
17	58,7	0,99	420	129	122237	7868
18	33,7	0,97	393	136	120245	8600
19	50,5	1,18	402	105	115482	7156
20	39,0	0,91	340	117	106425	7951
Média	41,2	0,97	400	127	105140	8058

3.9.3 - Anéis de 5" de Diâmetro

Para o estudo dos anéis de 5" foram selecionadas 10 vigas de Peroba Rosa com dimensões 6 x 16 cm para a montagem dos corpos de prova de compressão e de tração.

Na montagem do corpo de prova de ligação de compressão com os anéis de 5" de diâmetro e 0,5 cm de espessura e 3 cm de altura utilizaram-se cobrejuntas de 3 x 16 x 30 cm e a parte central do corpo de prova de 6 x 16 x 30 cm.

Adotou-se para diâmetro do parafuso de união 5/16" e do furo necessário 3/8".

Manteve-se 1,35 ϕ como distância do centro do anel até a extremidade comprimida.

A figura nº 59 mostra o corpo de prova de compressão com anéis de 5".

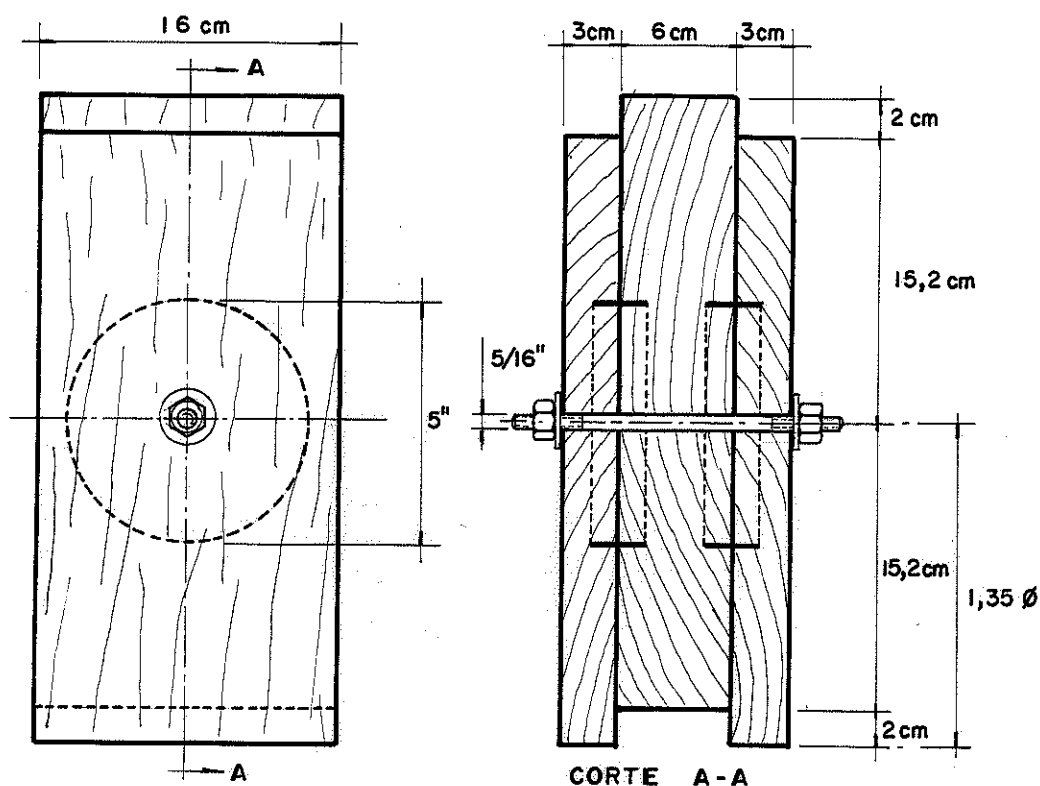


Fig. 59 - Compressão - Anéis de 5"

Realizados os ensaios, obtiveram-se os resultados apresentados na tabela nº 29.

TABELA Nº 29 - Resultados dos Ensaios de Compressão com Anéis de 5 Polegadas.

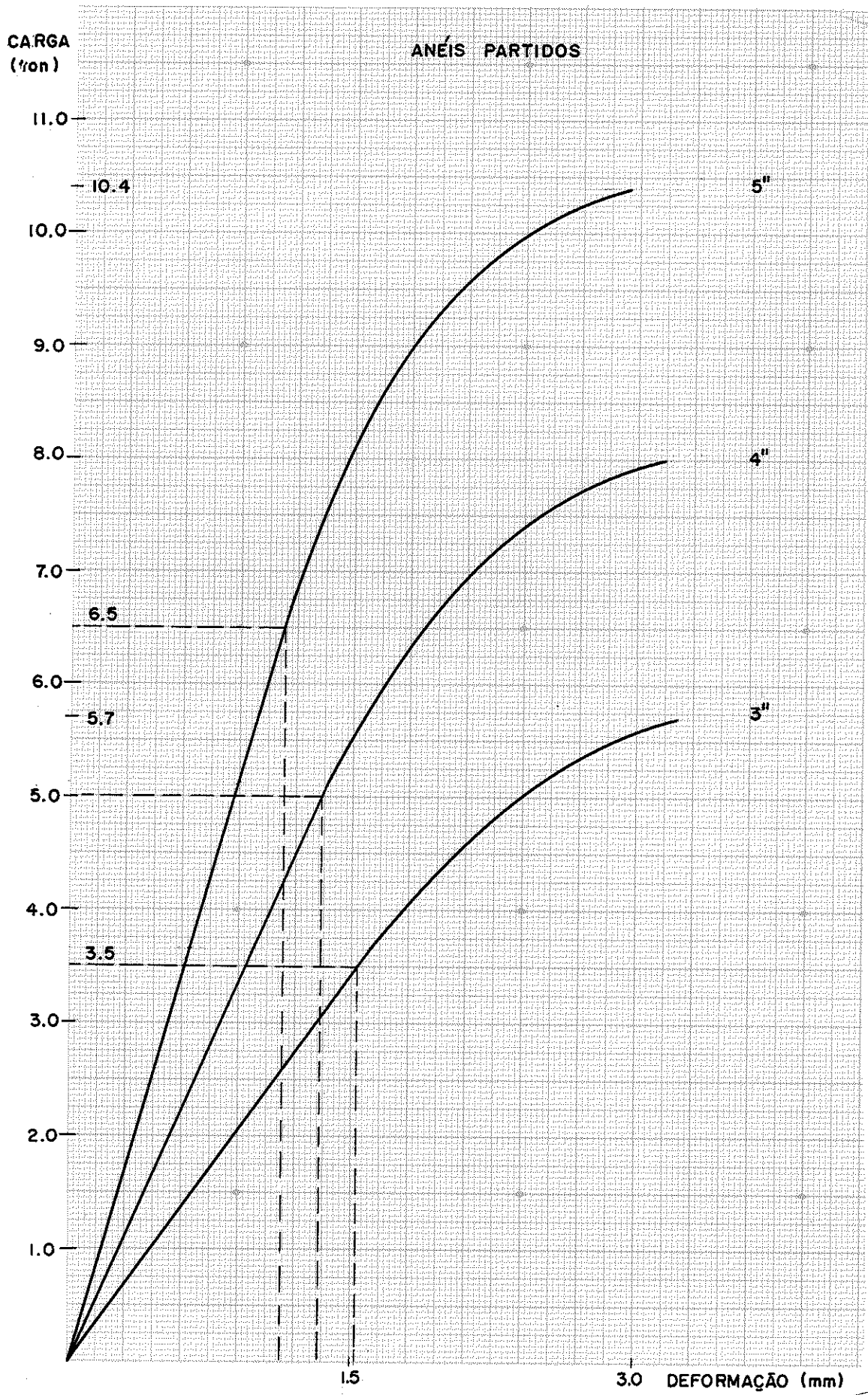
VIGA	UMIDADE %	DENSIDADE g/cm ³	σ_c kg/cm ²	τ kg/cm ²	MÓDULO DE ELASTICIDADE kg/cm ²	RUPTURA 1 anel kg
21	21,7	0,88	486	185	112409	13500
22	22,4	0,92	413	142	125108	10850
23	28,2	0,83	393	139	59196	10100
24	28,8	0,97	412	157	83546	10600
25	25,4	0,97	427	125	115738	11550
26	20,0	0,84	417	140	149776	9350
27	22,7	0,92	466	147	104170	11800
28	26,8	0,86	442	139	112341	12450
29	24,0	0,82	532	161	97963	12750
30	23,0	0,85	513	133	122268	10200
Média	24,3	0,88	450	147	108251	11315

Para exemplificar melhor o comportamento dos anéis de 3, 4 e 5 polegadas, escolheu-se um corpo de prova de cada grupo preparando-se os diagramas carga x deformação. Constante do anel dinamométrico 33,13 kg/divisão. Os dados para traçar estes diagramas encontram-se na tabela nº 30 e os diagramas no gráfico nº 20.

TABELA Nº 30 - Comparação de Resultados Médios de Ensaios de Anéis de 3, 4 e 5 Polegadas.

LEITURA DIVISÃO	CARGA kg	DEFORMAÇÃO ($\times 10^{-2}$ mm)		
		ANEL-3"	ANEL-4"	ANEL-5"
0	0	0	0	0
20	662,6	5,5	5,0	3,0
40	1325,2	25,0	11,5	8,0
60	1987,8	44,5	18,5	16,5
80	2650,4	68,5	27,5	26,5
100	3313,0	84,0	36,5	35,5
120	3975,6	97,0	46,0	43,5
140	4638,2	111,5	55,5	50,0
160	5300,8	125,5	63,5	56,2
180	5963,4	140,0	71,0	61,7
200	6626,0	155,0	79,0	67,0
220	7288,6	171,0	86,5	72,7
240	7951,2	190,5	94,5	78,2
260	8613,8	219,5	103,5	83,5
280	9276,4	254,5	124,0	89,0
300	9939,0	291,5	136,0	94,0
320	10601,6	-	149,5	99,2
340	11264,2	-	164,0	105,0
360	11926,8	-	182,0	111,0
380	12589,4	-	206,0	117,0
400	13252,0	-	236,5	124,0
420	13914,6	-	-	131,2
440	14577,2	-	-	139,5
460	15239,8	-	-	147,5
480	15902,4	-	-	157,7
500	16565,0	-	-	169,0
520	17227,6	-	-	182,5
540	17890,2	-	-	198,0
560	18552,8	-	-	210,0
580	19215,4	-	-	229,0
600	19878,0	-	-	254,5

Gráfico 20



3.9.4 - Distância às Bordas:

Para melhor avaliação das condições de emprego dos anéis de 3, 4 e 5 polegadas foi escolhida uma viga 6 x 16 cm, de Peroba Rosa, e montaram-se dois corpos de prova semelhantes para cada diâmetro de anel. Na montagem destes corpos de prova utilizaram-se anéis partidos, com altura igual a 3 cm. A distância do centro do anel até a extremidade comprimida foi mantida igual a $1,35 \phi$ e a distância do centro do anel até a borda determinou-se através da relação resultante da colocação do anel de 5" na viga de 6 x 16 cm, ou seja: $0,63 \phi$. Utilizando-se a seguir esta proporção para os corpos de prova para os anéis de 3 e 4 polegadas. Obteve-se o esquema de dimensões da figura nº 60.

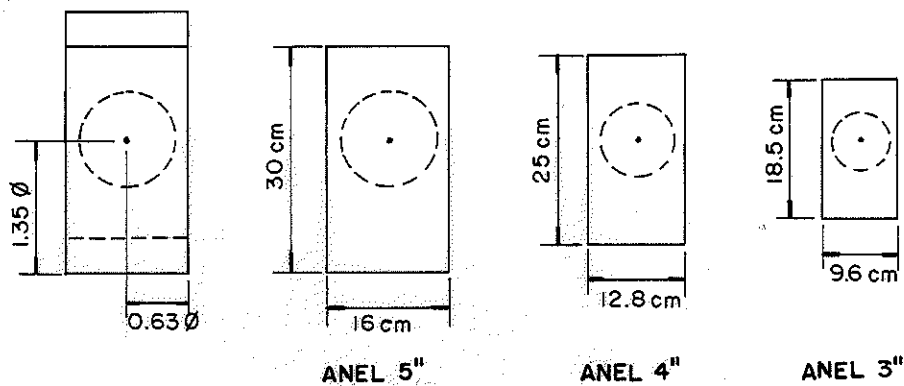


Fig. 60 - Dimensões dos Corpos de Prova

Como todos os corpos de prova foram retirados da mesma viga pode-se em primeira aproximação admitir umidade, densidade, tensão de compressão e de cisalhamento iguais para todos os corpos de prova.

Realizados os ensaios obtiveram-se os resultados apresentados na tabela nº 31.

TABELA Nº 31 - Compressão - Anéis de 3, 4 e 5 Polegadas
Distância de Borda $0,63 \phi$.

U %	D g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	RUPTURA DE 1 ANEL (kg)		
				3"	4"	5"
39	0,91	340	117	5632	7951	10303
				6460	7951	9939
				6046	7951	10121
			MÉDIA			

A capacidade de carga dos anéis, mostrou-se em primeira análise coerente com as médias das tabelas anteriores.

Para a montagem dos gráficos carga x deformação, tiraram-se as médias das deformações dos 2 corpos de prova para os mesmos valores de carga.

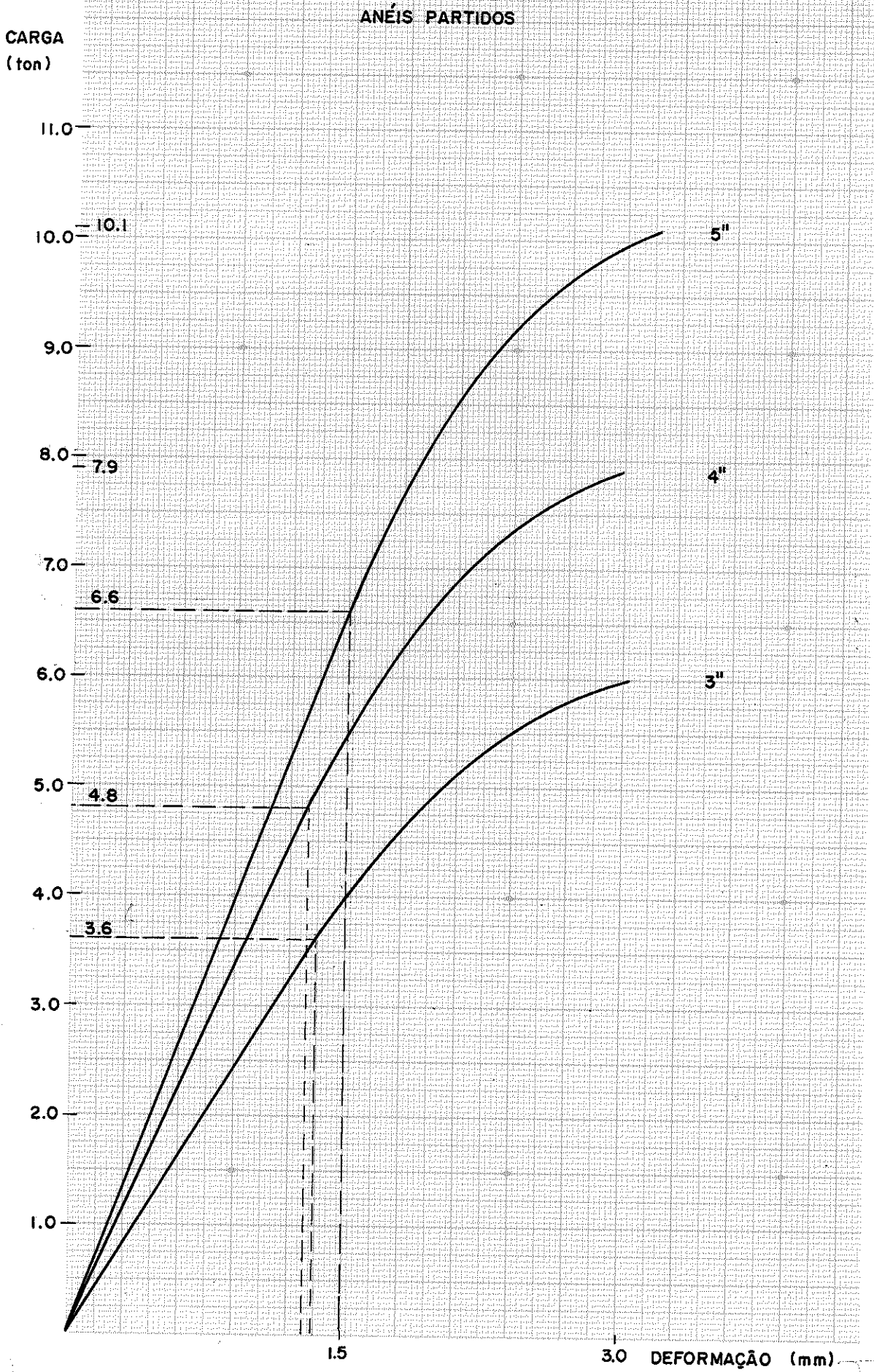
TABELA nº 32

LEITURA DIVISOES	CARGA kg	MÉDIA DAS DEFORMAÇÕES x 10 ⁻² mm		
		Anel - 3"	Anel - 4"	Anel - 5"
0	0	0	0	0
20	662,6	4,7	4,2	3,2
40	1325,2	57,7	20,7	7,5
60	1987,8	93,2	41,2	13,7
80	2650,4	113,2	54,5	23,2
100	3313,0	127,2	66,0	33,5
120	3975,6	139,5	76,0	43,2
140	4638,2	151,5	84,5	48,7
160	5300,8	163,0	92,7	58,7
180	5963,4	175,7	100,7	64,7
200	6626,0	188,5	109,2	73,0
220	7288,6	203,7	118,2	80,5
240	7951,2	221,0	128,5	87,7
260	8613,8	241,5	138,2	95,0
280	9276,4	270,0	148,0	103,2
300	9939,0	306,0	159,0	110,7
320	10601,6	-	174,2	118,0
340	11264,2	-	188,0	124,0
360	11926,8	-	200,2	128,7
380	12589,4	-	215,0	138,0
400	13252,0	-	236,2	146,5

Obs: Constante do anel = 33,13 kg/divisão.

A partir destes dados montou-se o gráfico nº 21

Gráfico 21



3.9.5 - Influência da Umidade na Capacidade de Carga dos Anéis.

A umidade existente na madeira 0% e o ponto de saturação é chamada de água de impregnação. A variação da umidade na madeira é causa de retração ou inchamento, alterando as dimensões e às vezes até a forma da peça, usualmente ocorre aumento da resistência mecânica da madeira com a redução da umidade.

Este fenômeno é mais acentuado nas espécies de madeira de menor densidade. Para melhor conhecimento desta situação fêz-se um estudo da influência da umidade na ligação de peças de Peroba Rosa com anéis metálicos.

Primeiramente escolheu-se uma viga de seção 6 x 12 cm, a mais homogênea possível, com as fibras retas, as fibras retorcidas, os corpos de prova não seriam comparáveis.

Contando-se a viga escolhida, de seção 6 x 12 cm, montaram-se 12 corpos de prova semelhantes, utilizando-se anéis de 3 polegadas de diâmetro. Destes, dois foram ensaiados imediatamente após a montagem, com a mesma umidade da viga, 5 foram mergulhados em água durante 72 horas, para alcançarem umidade de saturação e 5 foram secos ao ar, nas condições do ambiente existente entre o telhado e o forro do Laboratório, durante dois meses.

Os resultados obtidos encontram-se na tabela nº 33.

TABELA Nº 33 - Influência da Umidade

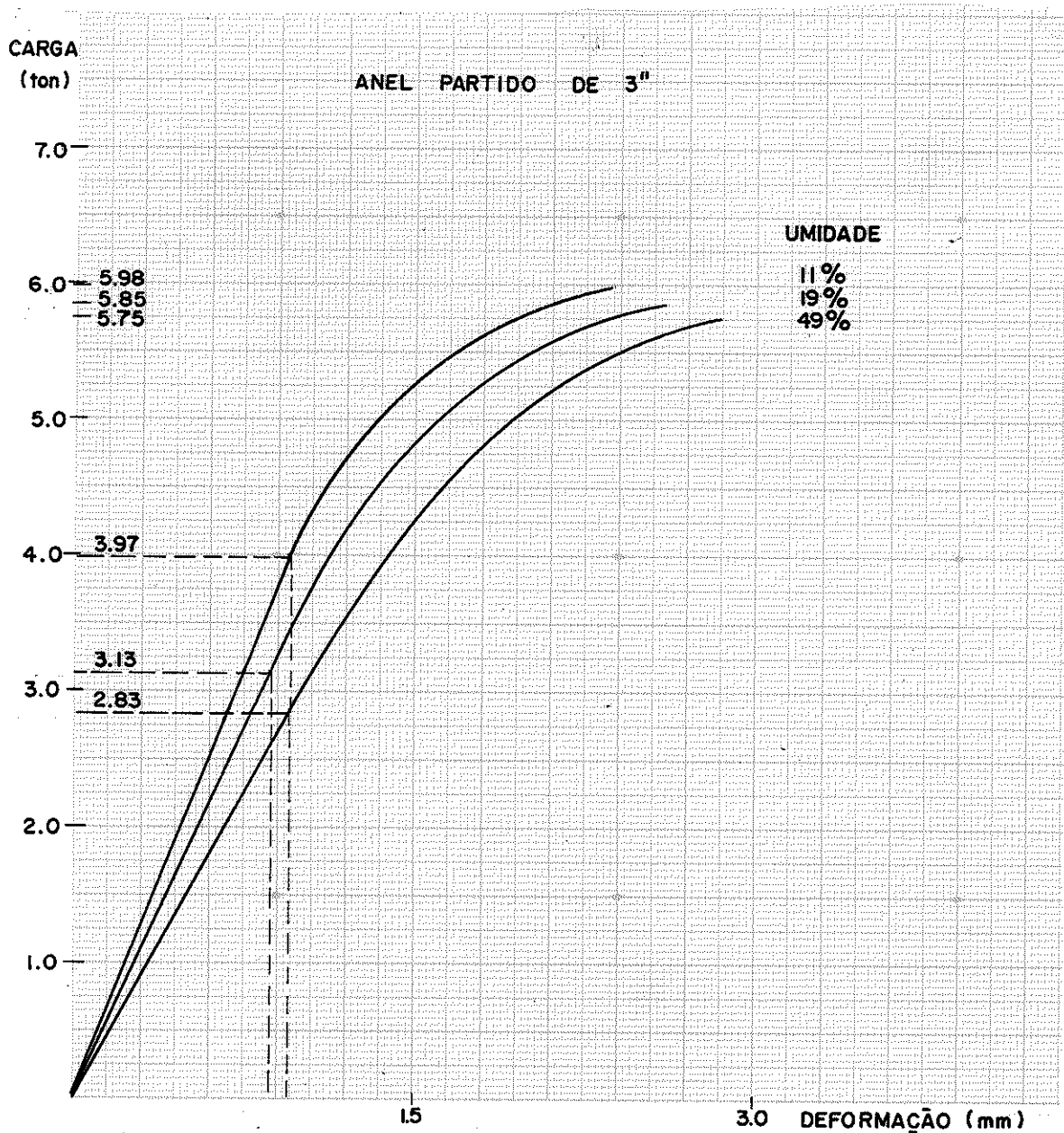
C.P.	U %	D g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	Carga de 1 Anel kg
1	20,11	0,81	429	126	112000	5635
2	18,21	0,79	461	122		6079
Média	19,10	0,80	445	124		5857
CORPO DE PROVA SATURADO						
1	46,60	0,97	437	132	111800	6361
2	50,40	0,98	414	112		5565
3-	49,70	0,97	431	137		5682
4	47,60	0,95	421	114		5665
5	49,90	0,98	422	121		5499
Média	48,70	0,97	425	123	5754	
CORPO DE PROVA SECO						
1	11,60	0,74	598	149	113000	5350
2	10,70	0,77	623	162		6096
3	11,10	0,75	587	174		5930
4	10,80	0,75	625	167		5913
5	11,20	0,78	615	172		6609
Média	11,10	0,76	609	165	5979	

Os resultados mais significativos são os dos corpos de prova saturado e secos, os quais apresentam uma diferença inferior a 5% na capacidade de carga do anel, na ruptura. A expectativa natural seria da existência de diferença maior. A pequena diferença pode ser atribuída à pequena variação da resistência ao cisalhamento para grande variação de umidade dos corpos de prova

Utilizando-se a média das deformações dos corpos de prova para uma mesma carga, montou-se o gráfico nº 22.

Presume-se que o aumento de resistência da madeira com a diminuição da umidade é prejudicado no cisalhamento pelas trincas, visíveis ou não, devidas à retração dos corpos de prova durante a secagem.

Gráfico 22



3.9.6 - Anéis Fechados, Partidos e Bipartidos

Durante o desenvolvimento dos ensaios preliminares dos anéis metálicos, notou-se a necessidade de comparar os anéis fechados, partidos e bipartidos, quanto à capacidade de carga e deformação para determinar qual seria o tipo de anel mais viável para aplicação em estruturas.

Inicialmente programou-se uma série de ensaios com anéis de 4 polegadas de diâmetro.

Selecionaram-se 9 vigas de Peroba Rosa de seção 6 x 12 cm, destinada cada uma delas a montagem de 3 corpos de prova idênticos, um para cada tipo de anel.

Ensaando-se os corpos de prova obteve-se a tabela nº 34 na qual figuram também as características físicas e mecânicas de cada viga.

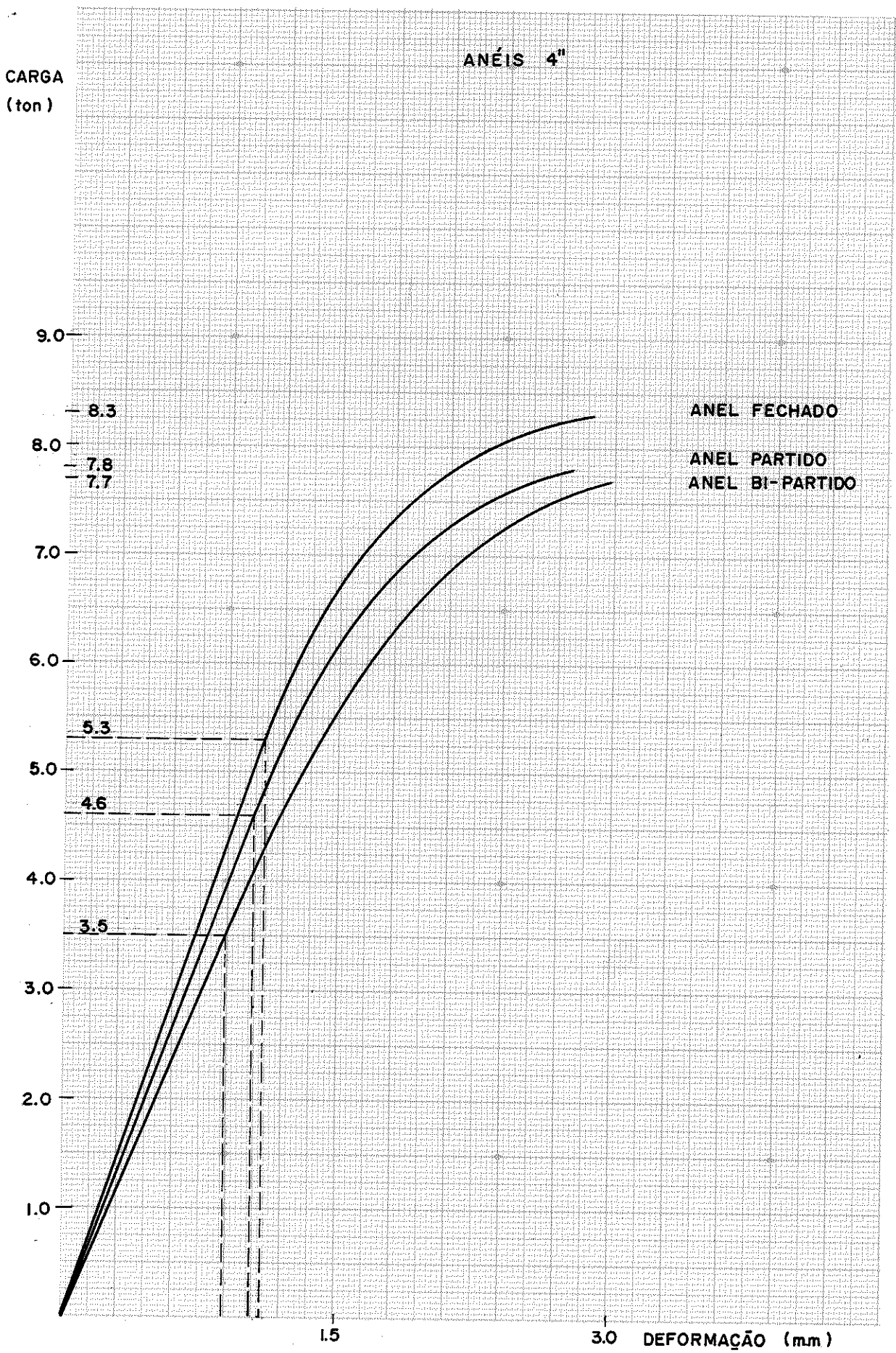
Pela média dos resultados dos ensaios, nota-se que a capacidade de carga do anel fechado é superior a do anel partido em 5,5% e em relação ao anel bipartido 6,8%.

Tirando-se a média das deformações de 9 corpos de prova, para cada carga montaram-se os diagramas do gráfico nº 23.

TABELA nº 34 - Anéis Fechados, Partidos e Bipartidos

VIGA	U %	γ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	ANEL 4" FECHADO (kg)	ANEL 4" PARTIDO (kg)	ANEL 4" BIPARTI DO (kg)
1	15,78	0,83	537	158	135900	9541	8548	8912
2	17,57	0,81	502	174	143400	9657	8845	8365
3	29,74	0,90	404	123	144000	6659	6792	6212
4	33,04	0,96	372	149	136400	8779	6958	8133
5	46,63	0,92	417	126	136300	8498	7885	7438
6	37,34	1,05	396	142	135100	8548	8680	8332
7	18,57	0,84	470	172	153600	7520	8332	8265
8	36,66	0,97	393	136	152500	7885	7703	7670
9	42,09	0,95	365	119	151900	7471	6692	6228
MÉDIA	30,82	0,91	428	144	143200	8284	7826	7728

Gráfico 23



Os anéis bipartidos além de apresentarem menor capacidade de carga apresentam também maior deformação.

Para verificar se este comportamento ocorre também com anéis de 3" e 5" de diâmetro e comprovar para o anel de 4" de diâmetro, tomaram-se 3 vigas de seção transversal 6 x 16 cm e montaram-se 9 corpos de prova para cada viga, sendo 3 com anéis fechados, 3 partidos e 3 bipartidos. Em cada viga utilizou-se apenas um diâmetro de anel.

Realizados os ensaios destes corpos de prova montou-se a tabela nº 35. Observa-se que a média da capacidade de carga dos anéis fechados é superior a média dos anéis partidos e bipartidos. A diferença da capacidade de carga do anel fechado para o partido ou do partido para o bipartido, é entretanto bastante pequena.

Nos diagramas do gráfico nº 24 pode-se notar o comportamento dos 3 tipos de anéis com diâmetro de 3". O anel bipartido apresenta menor capacidade de carga e maior deformação da ligação.

Nos diagramas do gráfico nº 25 os anéis de 4" de diâmetro, bipartidos, apresentam o mesmo comportamento dos ensaios anteriores.

TABELA nº 35 - Anéis Fechados, Partidos e Bipartidos

φ DOS ANÉIS	U %	γ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	ANEL FECHADO kg	ANEL PARTIDO kg	ANEL BIPARTIDO kg
3"	27,28	0,87	430,6	137,0	6192	5744	5495
					6441	5661	5617
					5611	5944	5910
				Média	6081	5783	5672
4"	19,88	0,75	371,1	167,8	8117	7951	7603
					9111	7520	7421
					8448	8100	7636
				Média	8559	7857	7553
5"	33,32	0,86	408,2	123,4	10160	10568	9608
					10875	10353	9856
					11016	10585	9471
				Média	10683	10502	9646

Para os anéis de 5" de diâmetro, os diagramas do gráfico nº 26 mostram o mesmo comportamento geral para os 3 tipos de anéis, com alguma diferença apenas na fase elástica dos ensaios dos anéis partidos e fechados.

A experiência de montagem dos corpos de prova demonstra ser mais adequado para instalação o anel partido, devido à facilidade de adaptação destes nos encaixes feitos na madeira, sendo por isso preferidos os anéis fechados, apesar de sua capacidade de carga ligeiramente superior.

Gráfico 24

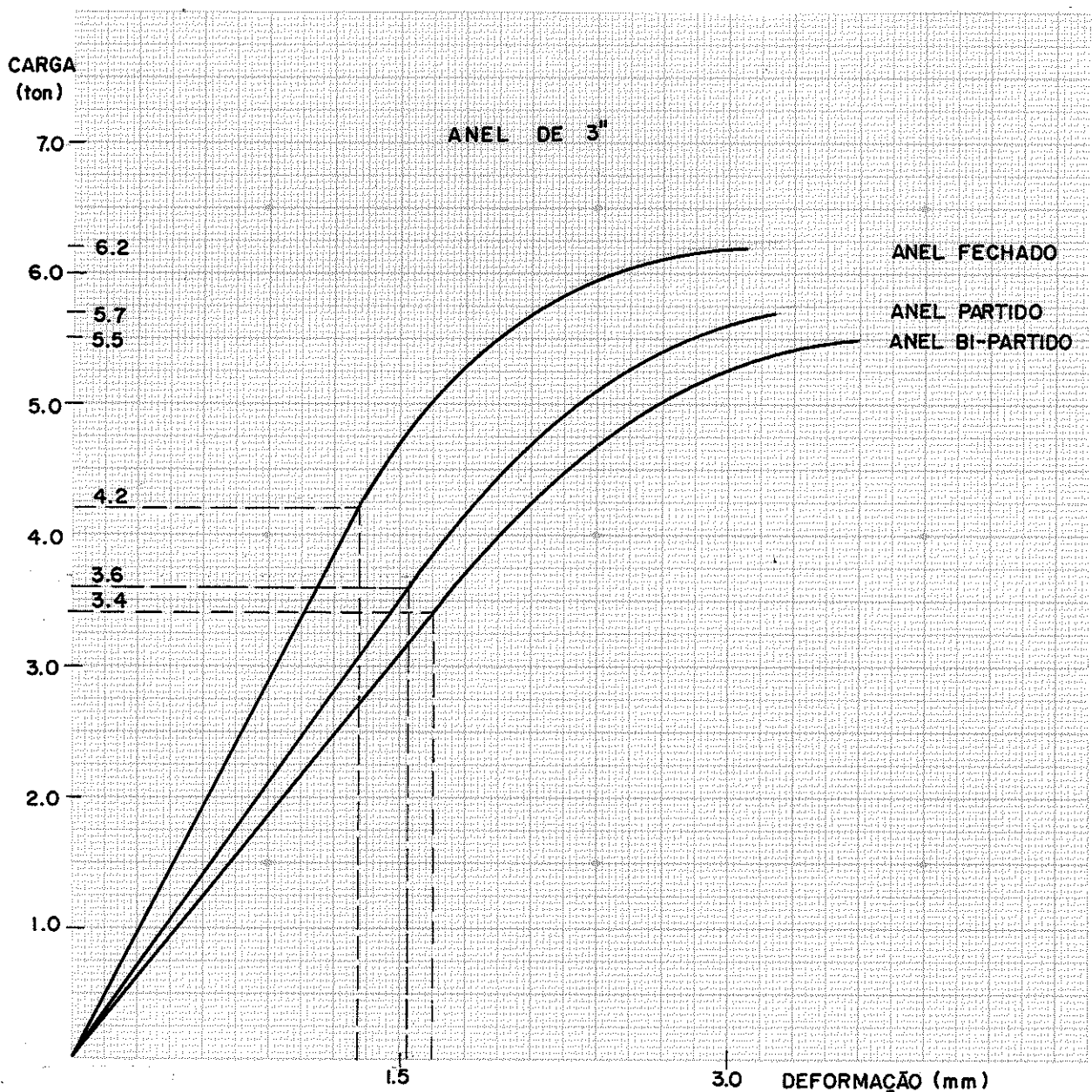


Gráfico 25

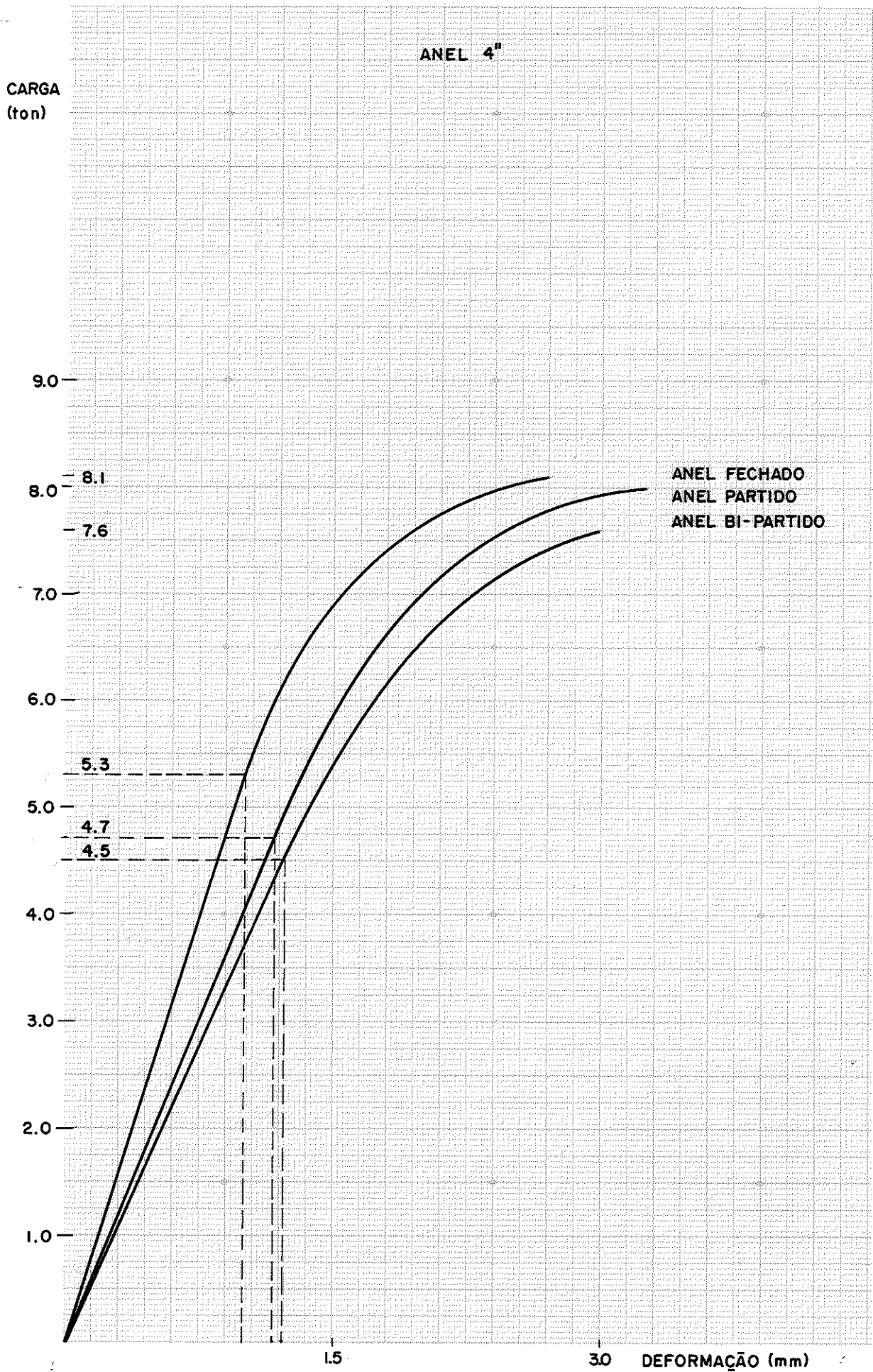
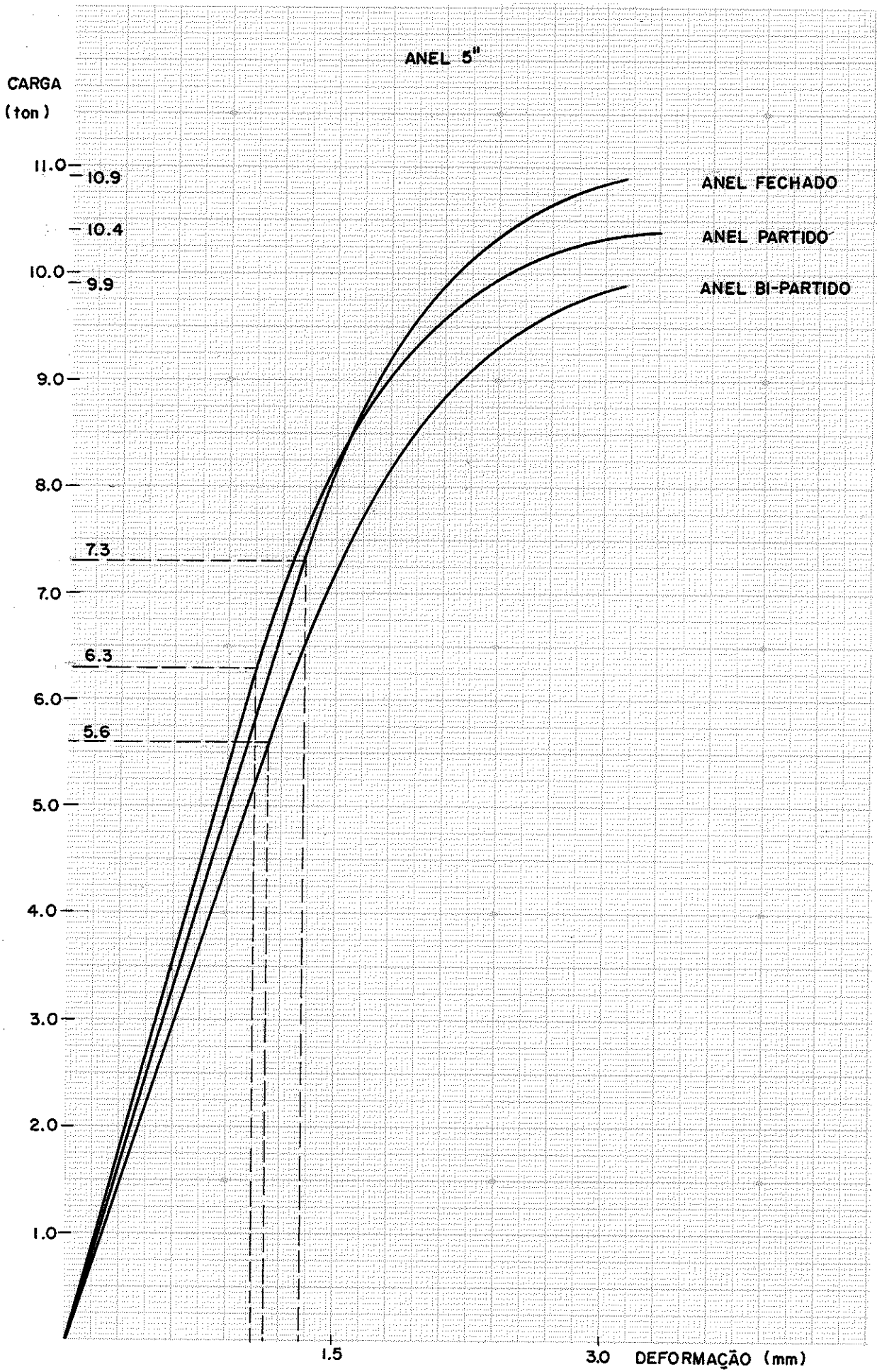


Gráfico 26



3.10 - Ligação de Tração:

Os ensaios de tração de peças ligadas por anéis metálicos partidos, são difíceis de se realizar devido a alta capacidade de carga dos anéis e a inexistência de equipamentos especiais. Utilizando-se recursos disponíveis no LaMEM fez-se a montagem apresentada na fig. n° 61 com dois cilindros hidráulicos.

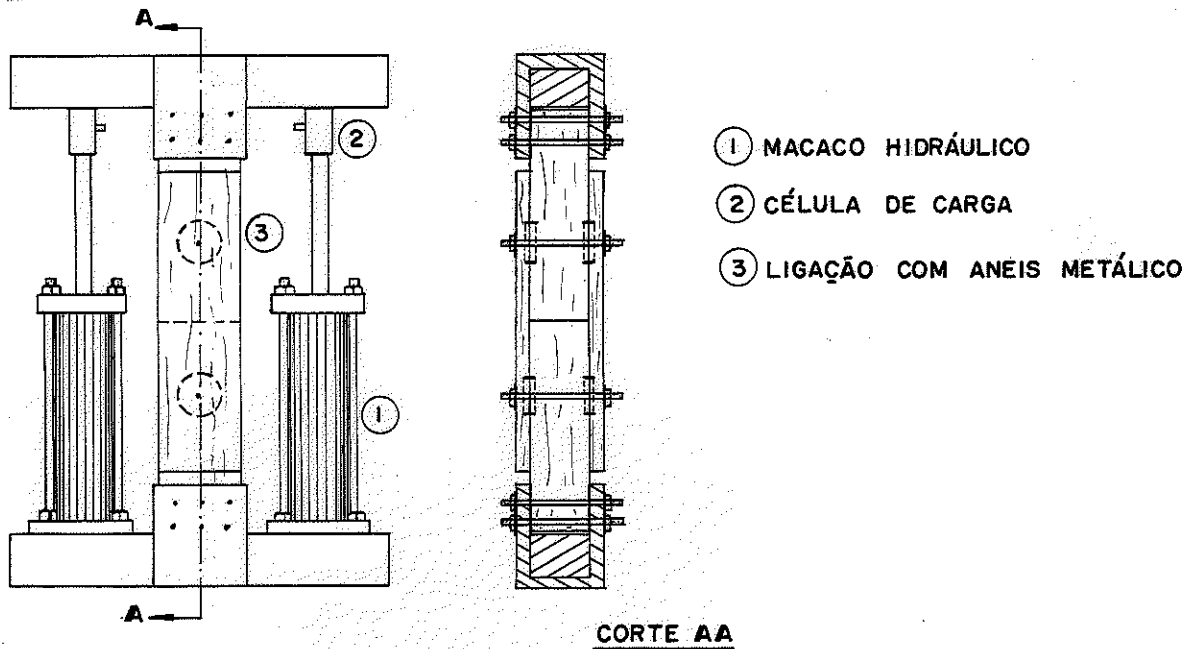


Fig. 61 - Dispositivo para Ensaio de Tração

Este conjunto apresentou deficiência pois os dois cilindros embora sejam praticamente idênticos não apresentam comportamento idêntico e o corpo de prova rompe-se com baixa capacidade de carga.

Pensou-se em montar um novo conjunto para ensaios de tração, utilizando-se apenas um cilindro hidráulico e o corpo de prova na forma de treliça convencional, constituída de dois banzos superiores ligados ao banzo inferior por anéis metálicos. O ensaio de tração é feito na emenda central do banzo inferior.

A carga é aplicada no encontro dos banzos superiores. Um apoio fixo e outro móvel permitem o comportamento isostático da treliça, fig. n° 62.

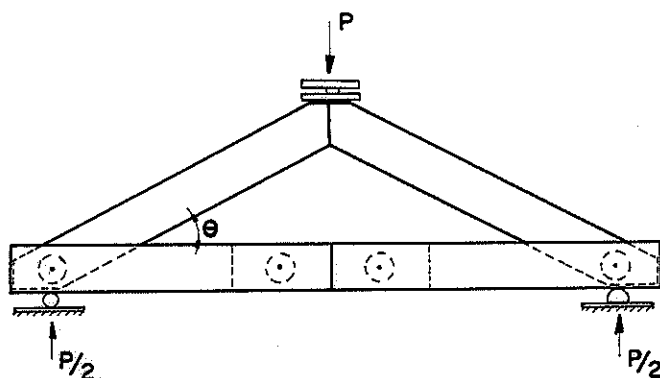


Fig. 62 - Corpos de Prova de Tração

Para calcular os esforços de tração na ligação central do banzo inferior, fig. nº 63.

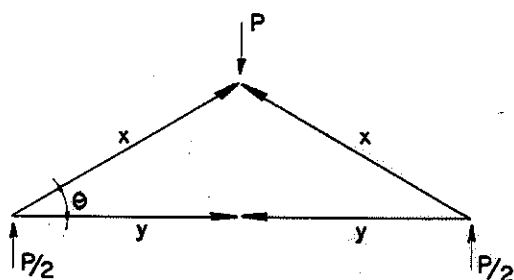


Fig. 63

$$\frac{P}{2} = x \text{ sen } \theta$$

$$y = x \text{ cos } \theta$$

$$y = \frac{P \text{ cos } \theta}{2 \text{ sen } \theta}$$

$$y = \frac{P}{2 \text{ tg } \theta}$$

Tentou-se padronizar construtivamente o ângulo θ para todos os diâmetros de anéis, pois para θ muito pequeno, o comprimento da viga não seria suficiente para a montagem da treliça. Adotou-se $\theta = 26^\circ$.

3.10.1 - Anéis de 3" de Diâmetro:

Com madeira das mesmas 10 vigas 6 x 12 x 500 cm do estudo dos corpos de prova sujeitos a compressão, montaram-se os corpos de prova para os ensaios de tração.

Na montagem dos corpos de prova com anéis de 3" de diâmetro, sujeito a tração, manteve-se a altura do anel em 3 cm, o furo para o parafuso de 5/16" e o parafuso de 1/4".

Sabe-se que os esforços na ligação se transmitem parcialmente através da madeira externa e parcialmente através da madeira interna ao anel. A parte externa torna-se mais importante nas ligações tracionadas.

Tomando-se a distância do centro do anel, até a extremidade tracionada, como sendo uma vez o diâmetro do anel, calcula-se a área sujeita à tração fig. nº 64.

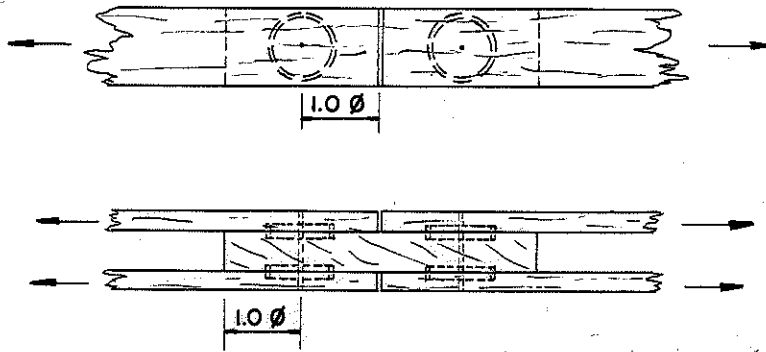


Fig. 64 - Distância do Centro do Anel - Extremidade

Para a tração tem-se:

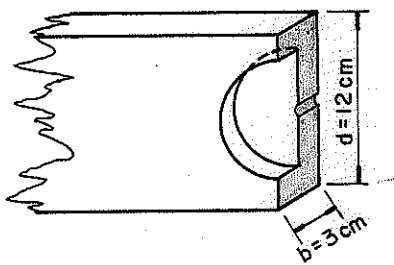
Diâmetro externo do anel $7,62 + 2 \times 0,3$

Diâmetro do furo do parafuso $0,79$

$$A_T = 3 \times 12 - 1,5 \times 8,22 - 1,5 \times 0,79 = 22,48 \text{ cm}$$

$$\sigma_T = 899 \text{ kg/cm}^2 \text{ (peroba rosa)}$$

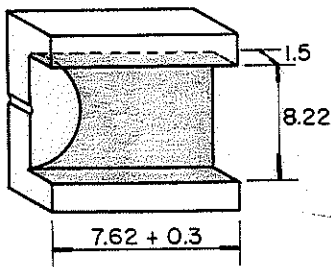
$$P_T = 22,48 \times 899 = 20210 \text{ kg}$$



Admitindo-se $\sigma_T = \sigma_F$ obtem-se nas tabelas do Boletim nº 31 do IPT a tensão de ruptura da Peroba Rosa (899 kg/cm^2) (71).

A capacidade de carga da seção útil da madeira submetida à tração é muito superior à carga admitida para o anel.

Para o cisalhamento tem-se:



$$A_C = (7,92 \cdot 8,22) + 2(7,92 \cdot 1,5) + \frac{\pi \cdot 7,62^2}{2 \cdot 4} = 111,66$$

$$\tau = 121 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_C = 111,66 \cdot 121 = 13510 \text{ kg}$$

A área externa e interna ao anel sujeita ao cisalhamento é bastante grande.

(71) Tabelas de Resultados Obtidos para Madeiras Nacionais - Boletim nº 31 - 2.^a Edição - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - 1956 - São Paulo.

A capacidade de carga teórica da madeira à tração é superior a capacidade de carga teórica ao cisalhamento nas peças 6 x 12 cm ligadas por anéis de 3".

Na fig. nº 65 pode-se observar uma treliça, pronta para ser ensaiada, com dois relógios comparadores, um para medir a deformação na ligação com anéis e o outro para medir a diminuição da altura da treliça para calcular a diminuição do ângulo θ devida ao carregamento.

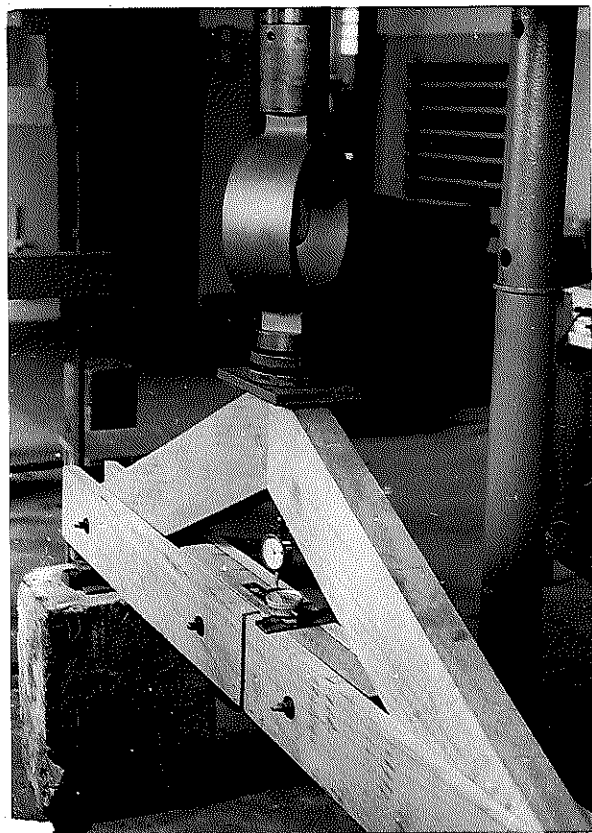


Fig. 65 - Ensaio de Ligação Tracionada

A fig. nº 66 mostra o detalhe do anel dinâmico a junta universal e a chapa de distribuição de carga na justaposição dos banzos superiores.

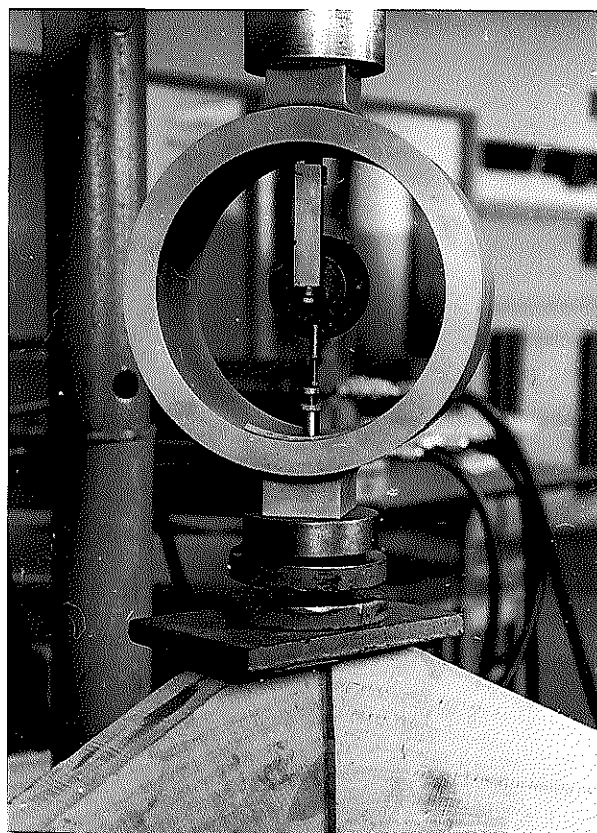


Fig. 66 - Detalhe da Forma de Carregamento

Realizados os ensaios dos corpos de prova, ligados por anéis metálicos partidos, sujeitos à tração e à determinação da umidade, densidade, módulo de elasticidade na compressão paralela, tensão de ruptura na compressão paralela e tensão de ruptura por cisalhamento da madeira, obteve-se a tabela nº 36.

TABELA nº 36 - Resultados dos Ensaios de Tração Anéis de 3"

VIGA	U %	γ g/cm ²	σ_C kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	RUPTURA 1 Anel kg
1	15,1	0,79	509	156	108000	3740
2	13,4	0,75	500	134	113220	4859
3	20,8	0,87	460	166	119300	4329
4	15,1	0,82	587	160	135460	4700
5	14,3	0,78	510	186	104460	5113
6	13,9	0,82	543	190	129500	4888
7	15,6	0,79	505	132	114200	4241
8	13,6	0,80	423	159	118000	5113
9	13,6	0,93	578	266	141950	5062
10	13,7	0,86	590	209	154190	5412
Média	14,9	0,82	520	176	123829	4746

O ângulo θ , medido pouco antes da ruptura, encontra-se com 23°, valor a ser considerado no cálculo da capacidade de carga do anel.

A ruptura dos corpos de prova de tração, deu-se por cisalhamento tanto da parte interna como da parte externa ao anel, fig. 67.

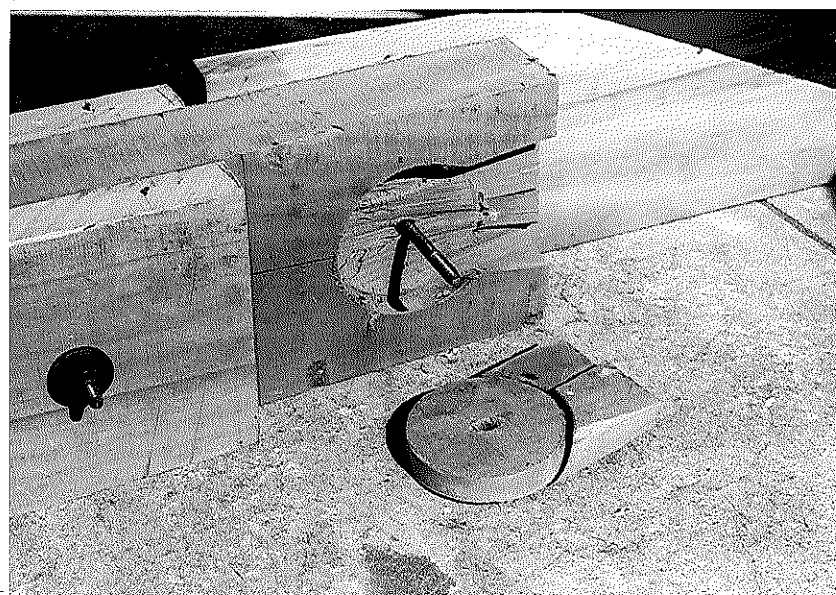


Fig. 67 - Ruptura do Corpo de Prova de Tração

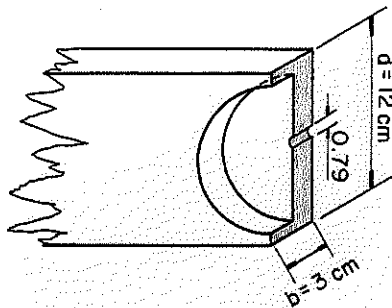
A média das cargas de ruptura da ligação por anéis de 3" à tração, foi inferior à media das cargas de ruptura nas ligações comprimidas.

3.10.2 - Anéis de 4" de Diâmetro:

Para os ensaios de tração com anéis partidos de 4" de diâmetro manteve-se a altura do anel igual a 3 cm e utilizou-se parte das mesmas vigas, 6 x 12 cm, dos ensaios de compressão.

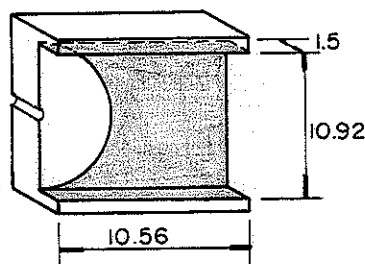
Utilizaram-se parafusos de união de 1/4" e furo de 5/16". A distância do centro do anel à extremidade tracionada, manteve-se igual a uma vez o diâmetro. O ângulo de inclinação dos banzos continuou sendo $\theta = 26^\circ$ na montagem dos corpos de prova.

Calculando-se a área útil de tração da madeira na ligação e a área de cisalhamento do anel tem-se:



$$A_T = 3 \times 12 - 1,5 \times 10,92 - 1,5 \times 0,79 = 18,37 \text{ cm}^2$$

$$P_T = 18,37 \times 899 = 16515 \text{ kg}$$



$$A_C = 10,56 \times 10,92 + \frac{1}{2} \frac{10,16^2}{4} + 2 (1,5 \times 10,56) = 187,5$$

$$P_C = 187,5 \times 121 = 22691 \text{ kg}$$

A capacidade de carga teórica ao cisalhamento nas peças 6 x 12 cm, ligadas por anéis de 4" é superior à capacidade de carga teórica destas peças à tração.

Realizados os ensaios obteve-se a tabela nº 37.

TABELA nº 37 - Resultados dos Ensaio de Tração - Anéis de 4"

VIGA	U %	γ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	RUPTURA 1 Anel kg $\theta = 23^\circ$
11	37,1	0,93	425	139	120890	5659
12	43,2	0,91	410	148	98090	5269
13	40,2	0,99	313	124	62650	4683
14	51,8	1,00	475	156	105050	4390
15	56,8	1,00	446	123	104950	5522
16	31,6	1,00	562	207	134890	5561
17	55,1	1,00	443	122	122240	4254
18	30,9	0,85	448	125	132420	4878
19	52,7	1,10	364	128	115480	3903
20	33,6	1,00	584	203	116810	6635
Média	43,3	0,97	447	147,5	111348	5075

Na fig. nº 68 vê-se a peça central de um corpo de prova ligado por anéis de 4" rompida por cisalhamento na tração.

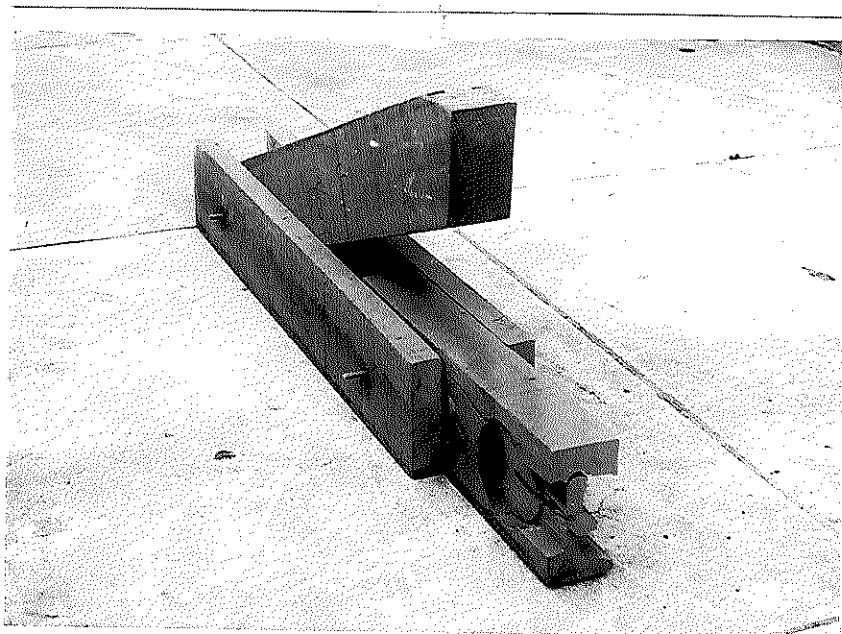


Fig. 68 - Ruptura por Cisalhamento em Peça Tractionada

Na figura nº 69 vê-se uma peça lateral do corpo de prova ligado por anéis de 4" rompida por cisalhamento ao longo da peça tracionada.

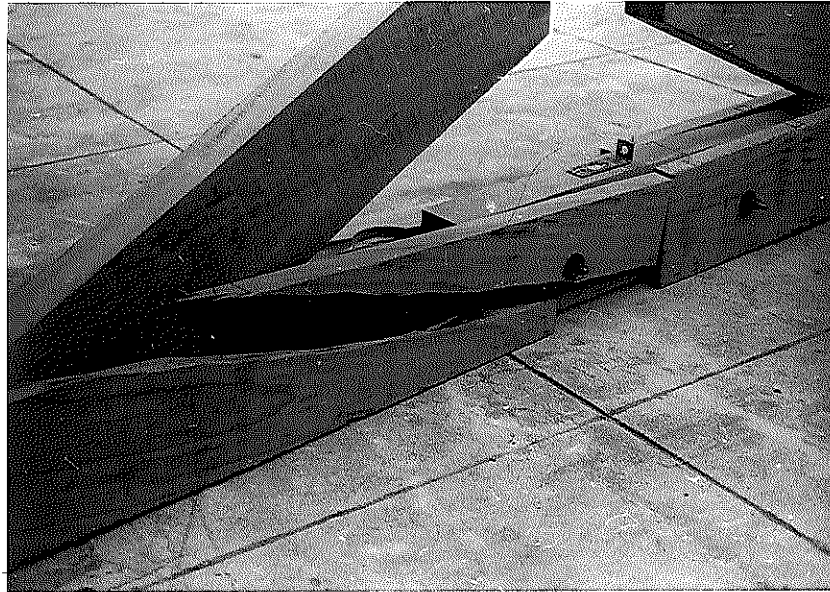


Fig. 69 - Ruptura por Cisalhamento de Peças Tracionada

A capacidade de carga teórica da madeira à tração e ao cisalhamento é superior à da ligação tracionada. A ligação tracionada apresentou também resultados inferiores aos da ligação comprimida.

Durante a realização dos ensaios de tração observou-se entretanto a ocorrência de abertura nas extremidades das peças de ligação, fig. nº 70.

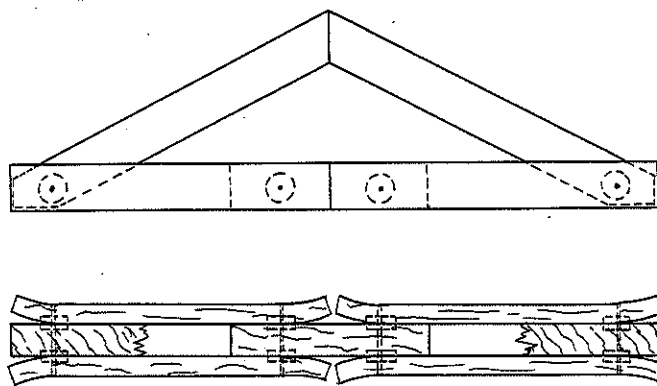
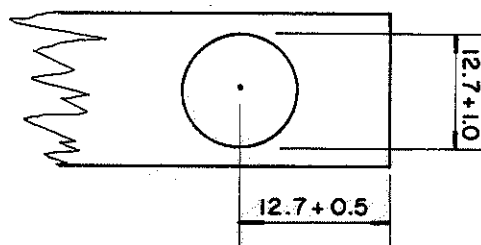


Fig. 70 - Abertura das Extremidades das Emendas Tracionadas

3.10.3 - Anel Partidos de 5" de Diâmetro:

Para os ensaios de tração com anéis de 5" foram utilizadas partes das mesmas vigas (6 x 16 cm) empregadas na preparação de ensaios de compressão de peças ligadas por anéis de 5" (cinco polegadas), utilizando-se parafusos de 5/16" e o furo de 5/8". A distância do centro do anel à extremidade tracionada foi mantida 1,0 φ, e $\theta = 26^\circ$.

Calculando-se a área útil da madeira à tração e ao cisalhamento nas peças 6 x 16 para anéis de 5" tem-se:



$$A_T = 3 \times 16 - 1,5 \times 13,7 - 1,5 \times 0,95 = 26,0 \text{ cm}^2$$

$$P_T = 26,0 \times 899 = 23374 \text{ kg}$$

$$A_C = 13,2 \times 13,7 + 2(1,5 \times 13,2) + \frac{1}{2} \frac{\pi \times 12,7^2}{4} = 283,7 \text{ cm}^2$$

$$P_C = 283,7 \times 121 = 34337 \text{ kg}$$

A resistência teórica da madeira ao cisalhamento nas peças 6 x 16 cm ligadas por anéis de 5" e superior à resistência teórica à tração das mesmas peças.

Realizado os ensaios, seguindo-se o esquema anterior, obteve-se a tabela nº 38.

TABELA nº 38 - Resultados dos Ensaios de Tração - Anéis de 5"

VIGA	U %	γ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	RUPTURA 1 Anel kg $\theta = 23^\circ$
21	28,9	0,75	454	165	112410	7083
22	36,7	0,95	372	144	125110	6322
23	47,2	0,82	334	124	59200	3707
24	48,5	0,98	405	131	83550	6439
25	42,4	0,99	372	156	115740	6088
26	28,0	0,81	366	120	149780	5230
27	29,7	0,87	494	156	104170	7396
28	47,3	1,00	403	153	112340	6830
29	40,7	0,97	457	158	97970	7805
30	28,3	0,82	372	119	122270	6361
MÉDIA	36,7	0,90	410	145	113704	6617

O corpo de prova nº 23 não foi considerado no cálculo da média.

Nesta série de ensaios a média dos resultados foi também inferior a dos ensaios de compressão e o efeito de abertura das extremidades das emendas tracionadas, fig. nº 68, foi ainda maior. Esta abertura, típica dos ensaios de tração, sugere um efeito mais complexo da tração nas extremidades das emendas.

Em primeira tentativa para impedir este efeito prejudicial à ligação fêz-se uma série de ensaios aumentando-se a distância dos anéis às extremidades das peças.

Foram montados 3 corpos de prova de tração, com anéis de 3", tendo como espaçamento e carga de ruptura, os seguintes resultados:

ESPAÇAMENTO	CARGA DE 1 ANEL
1,0 ϕ	4693
1,5 ϕ	4243
2,0 ϕ	5357

Os resultados obtidos dão uma indicação da possibilidade de maior resistência adotando-se maiores espaçamentos. Mas persistiu o efeito de abertura das extremidades das emendas.

Na experimentação seguinte foram preparados os corpos de prova em treliça com anéis de 5" nas extremidades e de 3" na parte tracionada, no centro. Adotou-se a distância às extremidades tracionadas $1,5 \phi$ e a colocação de um parafuso central de 1/4" entre o anel e a extremidade da emenda tracionada. O furo de colocação deste parafuso auxiliar foi feito na medida 5/16" para evitar sua contribuição direta na resistência da ligação, fig. nº 71 e fig. nº 72.

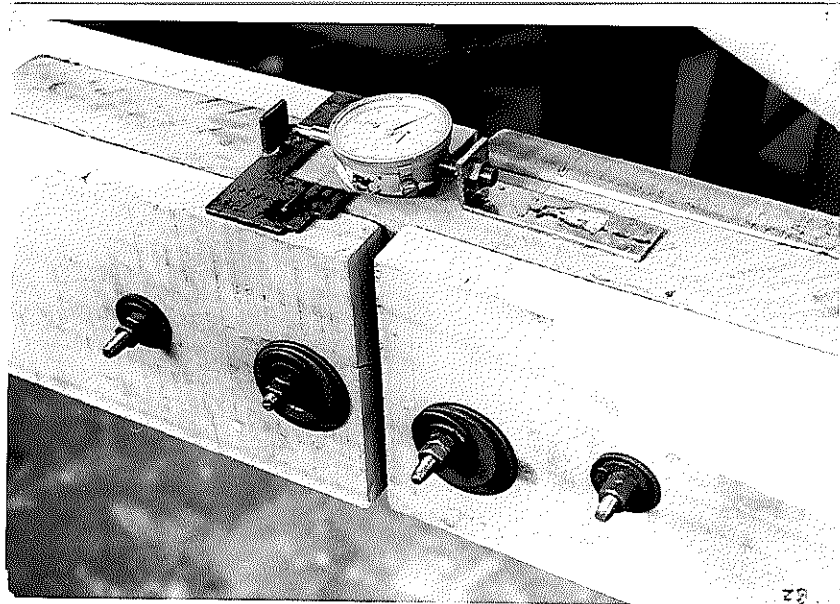


Fig. 71 - Detalhe da Ligação Central

Fig. 72 - Corpo de Prova sendo Ensaio

O ensaio do corpo de prova apresentado na fig. nº 70 já deu resultado melhor, isto é houve um aumento substancial da capacidade de carga de 4243 kg para 7040 kg.

Pensou-se a seguir na colocação de dois parafusos nas extremidades.

Para verificar esta hipótese foram montados corpos de prova com utilização de anéis de 3", 4" e 5", tendo cada um dois parafusos auxiliares nas extremidades.

Programou-se uma nova série de ensaios de tração, com vigas 6 x 12 cm, para os anéis de 3" e 4" e vigas 6 x 16 cm para anéis de 5". Como distância do centro dos anéis até a extremidade tracionada tomou-se 1,5 ϕ . Os parafusos auxiliares para limitar a abertura das emendas foi mantido com diâmetro 1/4" e furo 5/16". Nas extremidades da treliça colocaram-se braçadeiras. Durante os ensaios não se notou o efeito de abertura das emendas tracionadas.

A tabela nº 39, para os anéis de 3", 4" e 5" de diâmetro, contém a estimativa de capacidade de carga da madeira submetida à tração e ao cisalhamento nestes ensaios e a capacidade de carga da ligação.

TABELA nº 39 - Estimativa de Capacidade

ANEL	TRAÇÃO		CISALHAMENTO		CARGA ESTIMADA p/1 Anel kg	VIGA cm
	ÁREA cm ²	CARGA kg	ÁREA cm ²	CARGA kg		
3"	22,5	20209	60,6	7330	6000	6 x 12
4"	18,4	16514	97,8	11840	8000	6 x 12
5"	26,0	23374	154,7	18720	11000	6 x 16

Realizado-se todos os ensaios obteve-se a tabela de resultados nº 40.

TABELA nº 40 - Ensaio de Tração com Parafusos Auxiliares

VIGA	ANEL	U %	γ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	CARGA DE RUPTURA 1 Anel kg
1	3"	16,6	0,71	409	129	117960	5610
2	3"	18,6	0,86	426	149	124430	6480
Média		17,6	0,78	417	139	121195	6045
3	4"	14,2	0,77	432	148	131020	8220
4	4"	27,4	0,80	418	128	111640	7900
Média		20,8	0,78	425	138	121330	8060
5	5"	22,6	0,79	451	117	151560	10400
6	5"	33,7	0,75	309	100	76350	11300
Média		28,1	0,77	380	108	113960	10850

Os resultados obtidos experimentalmente nos ensaios de tração com a colocação dos parafusos auxiliares e braçadeiras são comparáveis com os obtidos nos ensaios de compressão.

Nas figs. n.ºs 73 e 74 observa-se o detalhe dos pares de parafusos na parte central do banzo inferior do corpo de prova de tração, e das braçadeiras nas extremidades.

Nas mesmas figuras tem-se exemplos de ruptura.

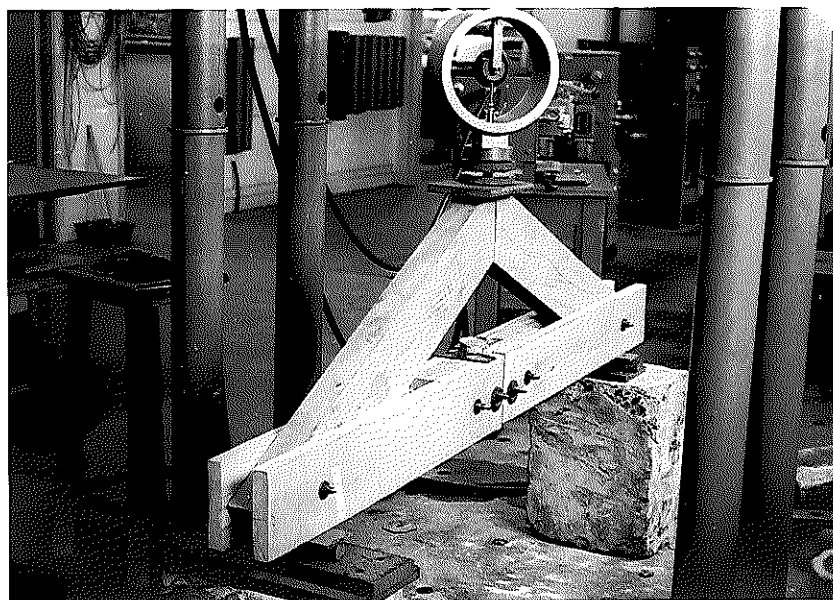


Fig. 73 - Ensaio de Tração com Parafusos Auxiliares

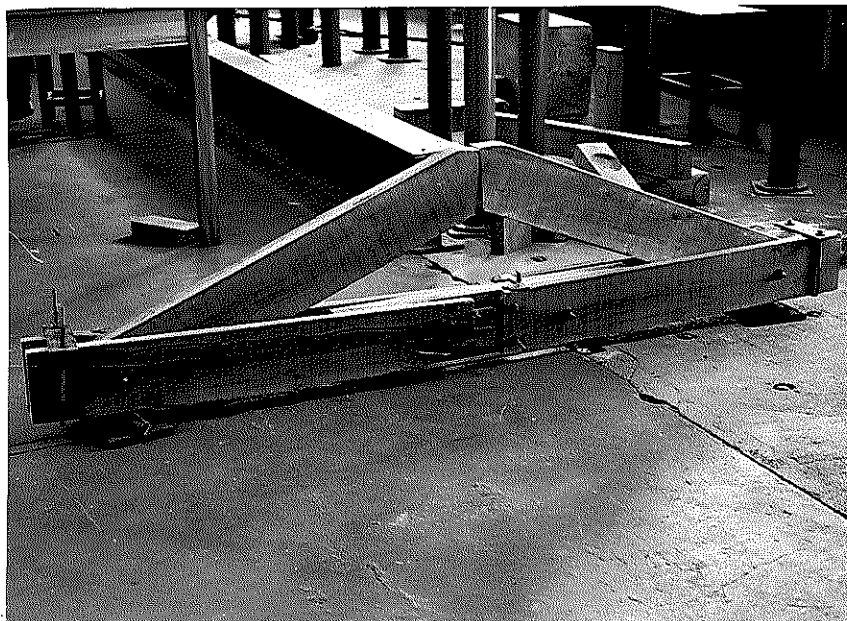


Fig. n° 74 - Ensaio de Tração - Ruptura

Nas figuras n° 75 e n° 76, tem-se mais dois exemplos de ruptura, junto ao anel central e ao anel da extremidade.

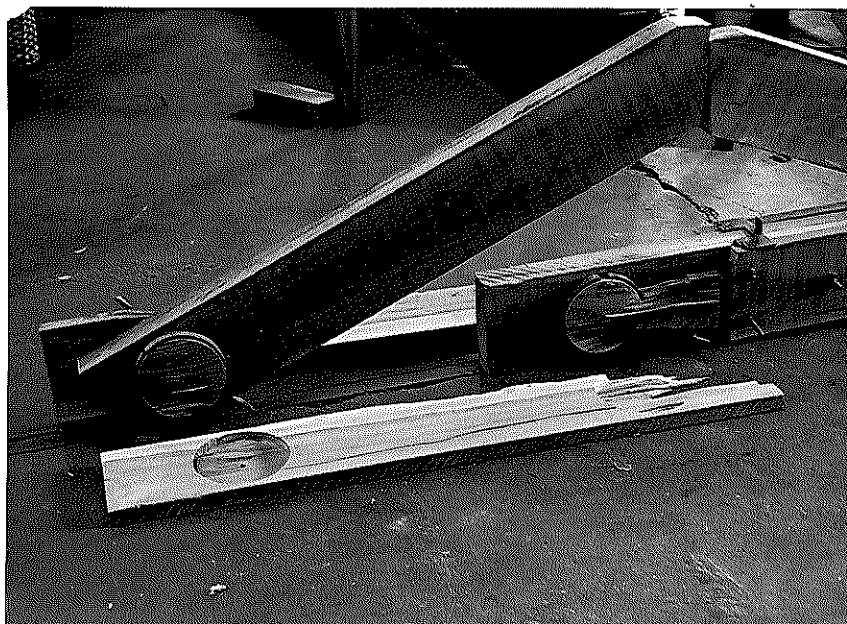


Fig. 75 - Ensaio de Tração - Ruptura

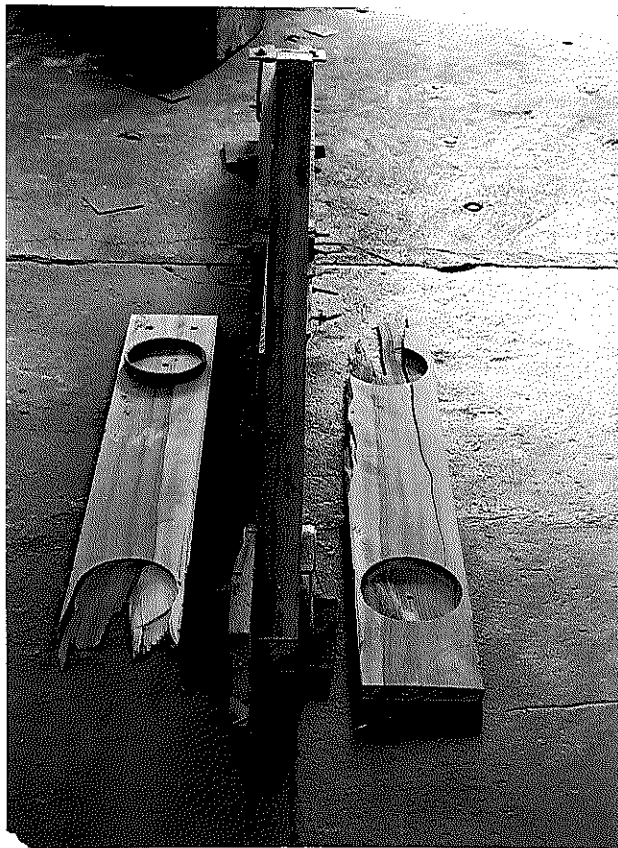


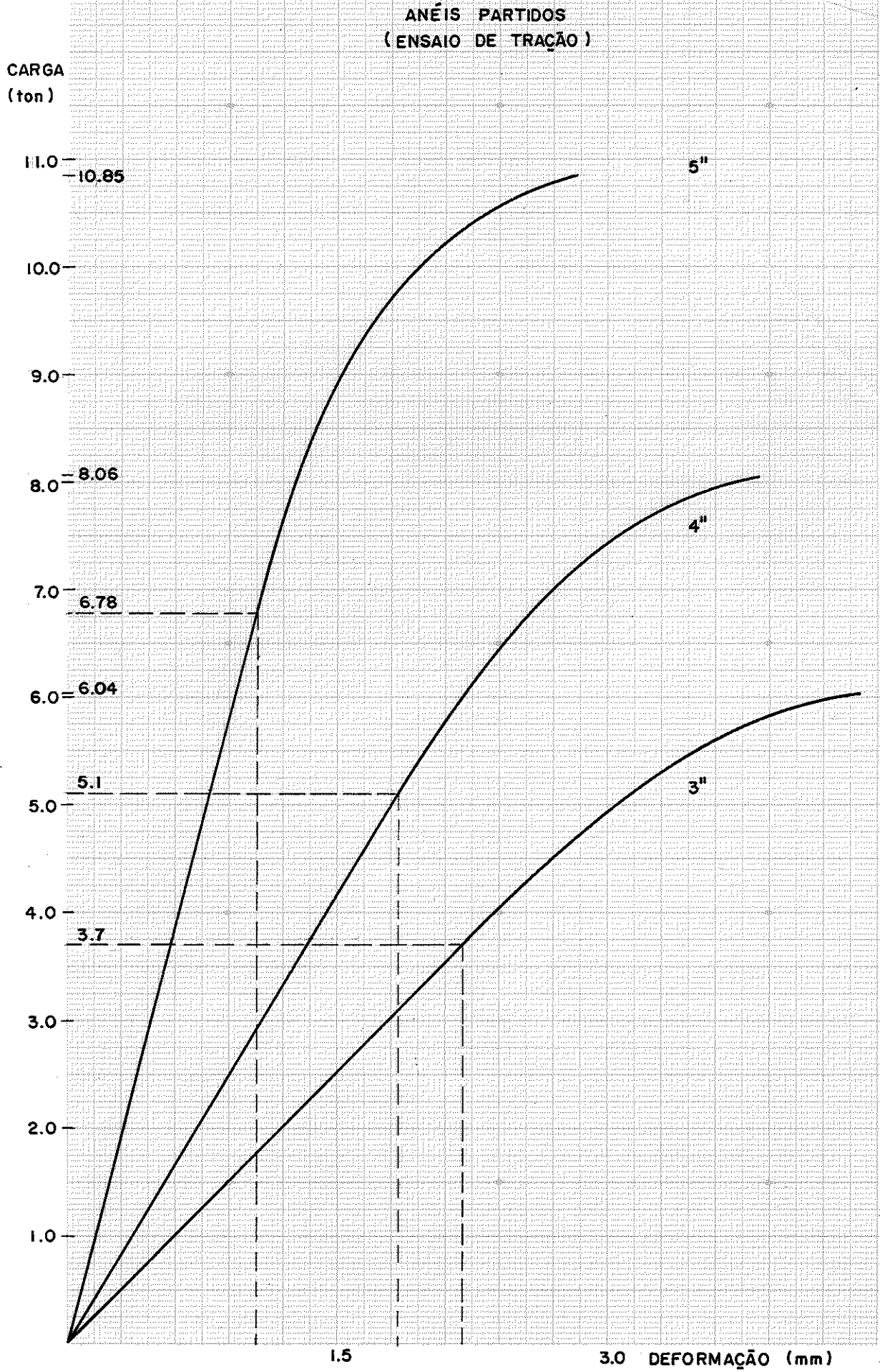
Fig. 76 - Ensaio de Tração - Ruptura

A partir dos resultados obtidos foram traçados os diagramas apresentados no gráfico n° 27. Cada diagrama representa a média das deformações dos dois corpos de prova ensaiados.

Comparando-se os gráficos dos ensaios de tração com os gráficos dos ensaios de compressão, dos anéis de 3, 4 e 5 polegadas, nota-se a semelhança entre os mesmos e a aproximação nos valores dos limites de proporcionalidade e dos limites de ruptura.

Esta coincidência de resultados é natural, pois o comportamento dos anéis na madeira realmente independe do sentido dos esforços com exceção da abertura das emendas na tração.

Gráfico 27



3.11 - Ângulo entre a Direção dos Esforços e a Direção das Fibras da Madeira:

Nos itens anteriores considerou-se sempre a ação dos esforços de compressão e de tração atuando paralelamente à direção das fibras da madeira.

Estudos teóricos e experimentais de estruturas de madeira indicam a equação de Hankinson para o cálculo dos esforços quando ocorrem ângulos entre a direção destes e das fibras da madeira.

$$P_{\theta} = \frac{P Q}{P \operatorname{sen}^2 \theta + Q \operatorname{cos}^2 \theta} \quad \text{sendo:}$$

P_{θ} - o esforço inclinado

θ - o ângulo entre as direções do esforço e das fibras.

P - o esforço paralelo.

Q - o esforço perpendicular

Para estudar a validade da aplicação da equação de Hankinson utilizando peças de madeiras nacionais ligadas por anéis metálicos, desenvolveu-se no LaMEM um estudo experimental de ligação de peças de Peroba Rosa por anéis metálicos partidos, tendo diâmetros de 3, 4 e 5".

3.11.1 - Anéis de 3"

Inicialmente mostraram-se duas séries de corpos de prova, tipo compressão, tendo a peça central cortada de maneira a se obter ângulos de 0°, 15°, 30°, 60° e 90° entre a direção das fibras e a direção da carga no ensaio dos anéis montados com estas peças. Foram ensaiados anéis de 3" e utilizando-se corpos de prova nas dimensões vistas anteriormente, item 3.9.1. As peças para montagem dos corpos de prova foram retiradas de uma única viga, tendo em vista acentuar a variação da capacidade de carga devido a variação dos ângulos, utilizando-se madeira mais homogênea, figura nº 77.

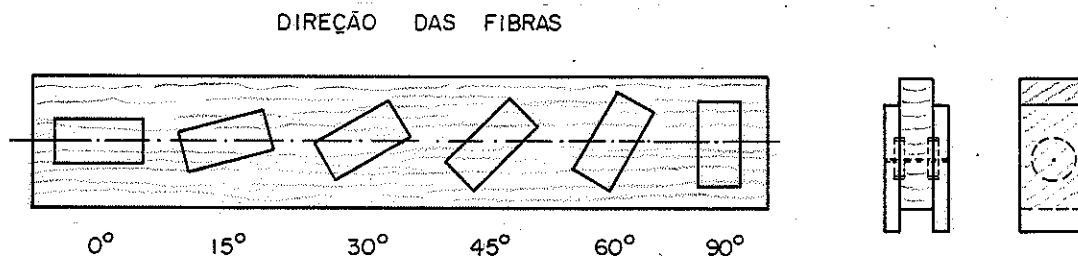


Fig. 77 - Peças Tendo Fibras Inclinadas

Os ensaios foram feitos utilizando-se dois corpos de prova por ângulo de inclinação. Os resultados obtidos encontram-se na tabela nº 41.

Os valores médios da capacidade de carga dos anéis de 3" para 0° e para 90° foram utilizados para o cálculo da capacidade de carga dos anéis com inclinação de 15°, 30°, 45° e 60° seguindo a equação de Hankinson.

Estes valores são apresentados na tabela nº 41.

TABELA Nº 41 - Ângulo entre a Carga e Fibra - Anel 3"

C.P. θ	1 kg	2 kg	MÉDIA kg	% DE VA- RIAÇÃO	HANKINSON kg	% DE VA- RIAÇÃO
0°	5848	5384	5616	100	5616	100
15°	5448	4970	5227	93	5443	97
30°	5251	4721	4886	89	5020	89
45°	5201	4854	5027	89	4539	81
60°	4555	4025	4290	76	4143	74
90°	3876	3742	3809	68	3809	68

O gráfico nº 28 mostra o comportamento dos ensaios dos anéis de 3" com θ variando de 0° a 90°.

3.11.2 - Anéis de 4"

Tomaram-se 3 vigas distintas, destinadas cada uma delas à preparação de uma série de ensaios com θ variando de 0° a 90°, para os anéis de 4". Dimensões dos corpos de prova como no item 3.9.2.

Os resultados obtidos, e a capacidade de carga segundo Hankinson, como anteriormente, são apresentados na tabela nº 42.

TABELA Nº 42 - Ângulo entre Carga e Fibra - Anel de 4"

C.P. θ	1 kg	2 kg	3 kg	MÉDIA kg	% DE VA- RIAÇÃO	HANKINSON kg	% DE VA- RIAÇÃO
0°	7868	9225	10270	9221	100	9221	100
15°	7934	8730	10502	9055	98	8755	95
30°	6212	9458	10071	8580	93	7694	83
45°	6029	7785	9690	7835	85	6601	72
60°	4141	7504	8349	6664	72	5780	63
90°	3478	5566	6377	5140	56	5140	56

O gráfico nº 29 mostra o comportamento dos ensaios dos anéis de 4" com θ variando de 0° a 90°.

3.11.3 - Anéis de 5"

Para o estudo dos anéis de 5" com ângulo entre carga e fibra, preparou-se duas séries de corpos de prova, com θ variando de 0° a 90°, de uma mesma viga. Dimensões dos corpos de prova e do parafuso como as do item 3.9.3.

Os resultados obtidos foram apresentados na tabela nº 43.

TABELA Nº 43 - Ângulo entre Carga e Fibra - Anel 5"

θ \ C.P.	1 kg	2 kg	MÉDIA kg	% DE VA - RIAÇÃO	HANKINSON kg	% DE VA - RIAÇÃO
0°	9841	9642	9741	100	9741	100
15°	9359	8945	9152	94	9317	96
30°	8117	8001	8059	83	8328	85
45°	7060	6948	7004	72	7272	75
60°	6150	5898	6019	62	6455	66
90°	5934	5671	5802	60	5802	60

O gráfico nº30 mostra o comportamento dos ensaios dos anéis de 5" com θ variando de 0° a 90°.

Na tabela nº 44 são apresentados os resultados médios dos ensaios dos anéis de 3, 4 e 5" e os valores calculados segundo Hankinson, com variação de θ de 0° a 90°.

TABELA Nº 44 - Ângulo entre Carga e Fibra - Anéis de 3, 4 e 5"

ϕ \ θ		0° kg	15° kg	30° kg	45° kg	60° kg	90° kg
3"	Média	9221	9055	8580	7835	6664	5140
	Hankinson	9221	8755	7694	6601	5780	5140
4"	Média	5616	5227	4986	5027	4290	3809
	Hankinson	5616	5443	5020	4539	4144	3809
5"	Média	9741	9152	8059	7004	6019	5802
	Hankinson	9741	9317	8328	7272	6455	5802

Gráfico 28

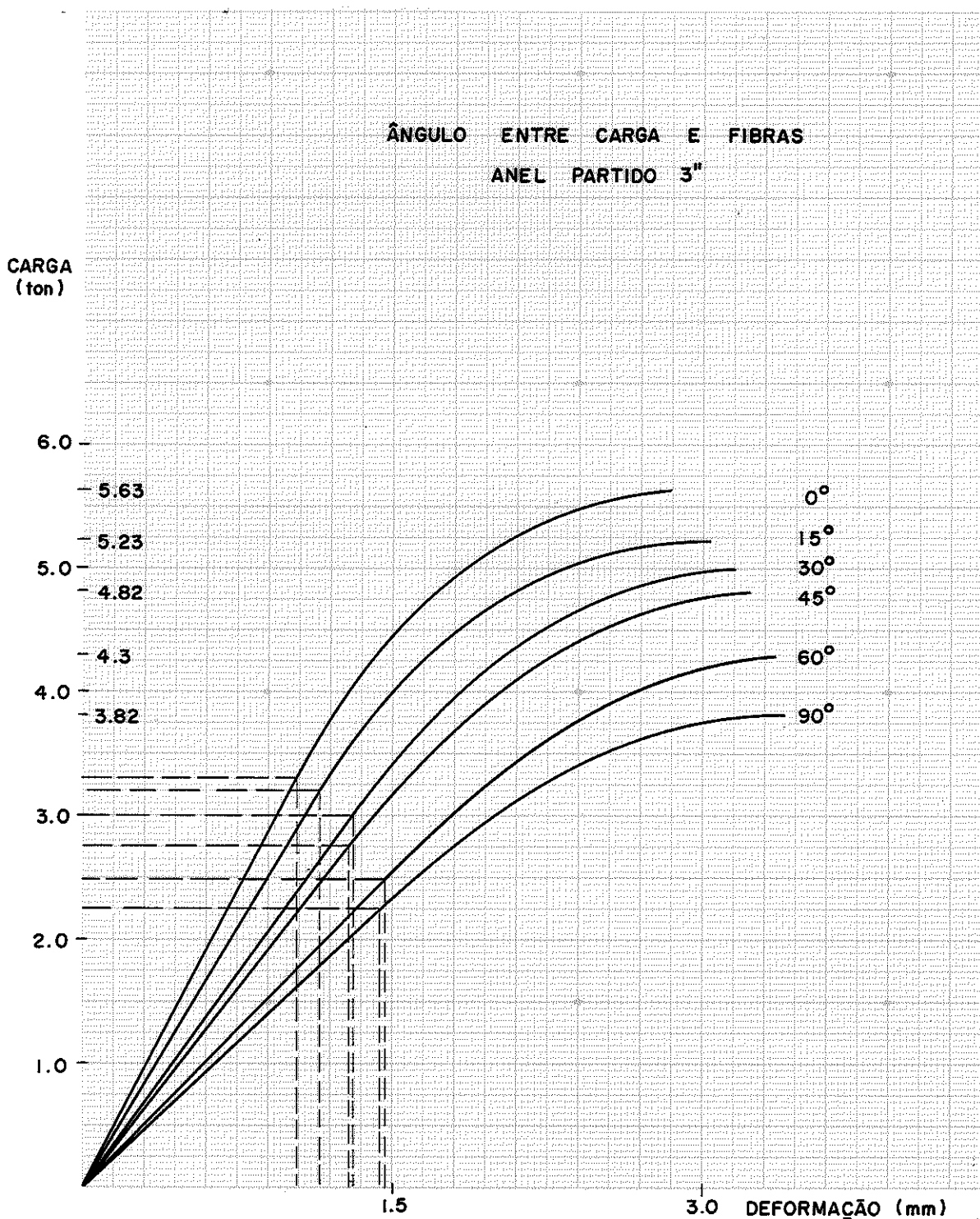


Gráfico 29

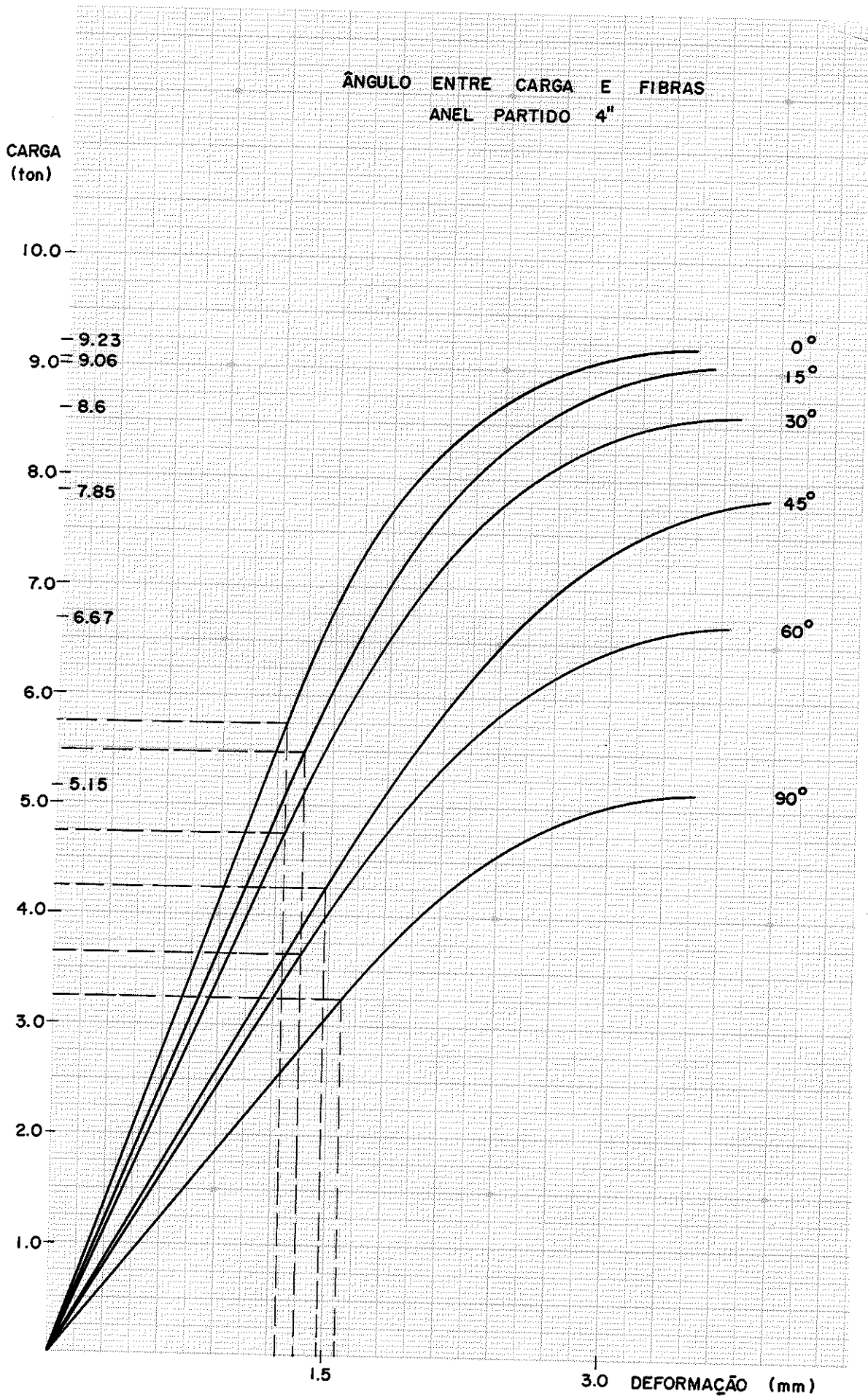
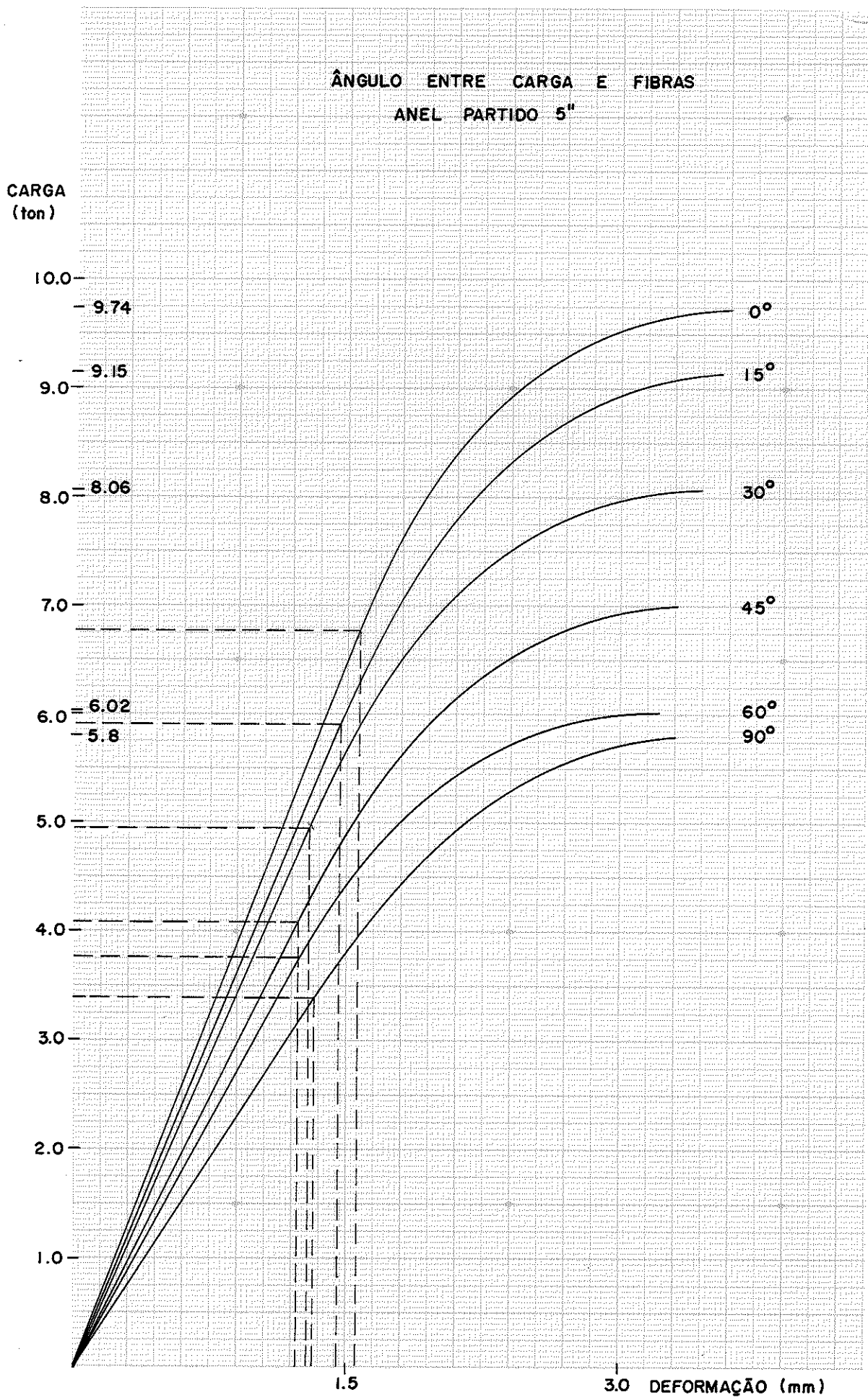


Gráfico 30



A simples comparação dos valores da tabela nº 44 indica a validade da aplicação da equação de Hankinson para calcular a capacidade de carga dos anéis submetidos a esforços em direção inclinada em relação às fibras da madeira.

3.12 - Anéis de 3, 4 e 5", Utilizando outras Especies de Madeira.

3.12.1 - Pinho do Paraná (Araucária Angustifolia)

A disponibilidade do Pinho do Paraná é decrescente mas ainda é uma das madeiras mais empregadas estruturalmente. De qualquer maneira programou-se o estudo dos anéis metálicos, partidos, utilizando o Pinho do Paraná para reter o exemplo de uma conífera interligada por anéis.

Escolheram-se 5 tábuas de Pinho, seca ao ar, de coloração variada e pesos diferentes para se obter material apresentando densidades diferentes para um mesmo nível de umidade.

Cada tábua foi destinada a montagem de 2 corpos de prova de compressão ligados por anéis partidos de 3", um corpo de prova para anéis partidos de 4" e um para 5".

Estes corpos de prova, foram montados utilizando-se duas peças coladas na parte central, para se obter 5 cm de espessura, ficando as cobrejuntas com 2,5 cm. Foram preparados anéis com altura de 2,5 cm para não se ultrapassar a penetração máxima de metade da espessura da cobrejunta e da peça central. As demais dimensões dos corpos de prova com anéis de 3", 4" e 5" foram mantidas. Um corpo de prova de cada viga com anel de 3", foi mergulhada na água, até atingirem a saturação. Retirados da água foram ensaiados e com os resultados organizam-se a tabela nº 45.

Tabela nº 45 - Corpos de Prova de Pinho do Paraná Saturados

C.P.	U %	σ k/cm ²	τ kg/cm ²	ANEL 3" kg
1	59,3	252	73	3569
2	46,4	265	65	2971
3	61,1	185	65	3038
4	76,7	188	45	1992
5	47,2	260	60	3469
Média	58,1	230	62	3008

Os demais corpos de prova com anéis de 3", 4" e 5" de madeira seca ao ar, foram ensaiados e os resultados são apresentados na tabela nº 46.

TABELA nº 46 - Corpo de Prova, Secos ao Ar, Pinho do Paraná

C.P.	U %	ρ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	ANEL 3" kg	ANEL 4" kg	ANEL 5" kg
1	13,7	0,57	414	126	4665	6325	6789
2	13,4	0,60	533	121	4399	6175	6972
3	14,1	0,52	414	104	4681	6059	8433
4	15,2	0,44	317	85	3121	4814	6723
5	13,7	0,56	376	99	4582	6673	7354
Média	14,0	0,54	411	107	4290	6009	7254

A influência da umidade no Pinho do Paraná é bastante significativa. A capacidade de carga do anel de 3" na madeira saturada é apenas 70% da capacidade de carga da madeira seca ao ar, coincidindo aproximadamente com redução de resistência à compressão paralela e ao cisalhamento da madeira saturada em relação da madeira seca ao ar.

No gráfico nº 31 vê-se o comportamento dos anéis interligando peças de Pinho do Paraná. A curva dos anéis de 3" com a umidade elevada, apresenta menor capacidade de carga e maior deformação comparada a dos anéis de 3" em madeira seca.

3.12.2 - Eucalipto Citriodora:

A disponibilidade do Eucalipto citriodora é crescente, pois se trata de madeira de excelente qualidade, de crescimento rápido e de ampla aceitação para reflorestamento.

Programou-se por isso um estudo da ligação de peças estruturais de Eucalipto Citriodora utilizando os anéis metálicos.

Escolheram-se 5 toras de Eucalipto, sendo cada tora procedente de árvore diferente, cortando-as em vigas de dimensões de 6 x 12 cm para os anéis de 3" e 4", 6 x 16 cm para os anéis de 5".

Da madeira de cada tora fêz-se a montagem de 2 corpos de prova de compressão, ligados por anéis partidos de 3", 1 corpo de prova para os anéis partidos de 4" e um de 5".

Utilizaram-se anéis com altura igual 3 cm. As demais dimensões dos corpos de prova foram mantidas como nos itens anteriores.

As toras de Eucalipto por terem sido cortadas recentemente, apresentavam teores de umidade elevados. Separou-se um corpo de prova de cada tora, com anel de 3" para secarem ao ar. Ensaaiando-se estes corpos de prova, obteve-se a tabela nº 47.

TABELA Nº 47 - Corpos de Prova de Eucalipto Citriodora - Secos ao Ar

C.P.	U %	ρ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	ANEL 3" kg
1	14,4	1,04	729	195	241700	6308
2	12,9	1,08	650	164	173300	7105
3	11,8	1,01	652	181	246000	6998
4	11,3	0,92	725	149	222200	5976
5	11,2	1,06	646	136	254800	8516
Média	12,3	1,02	680	165	227600	6980

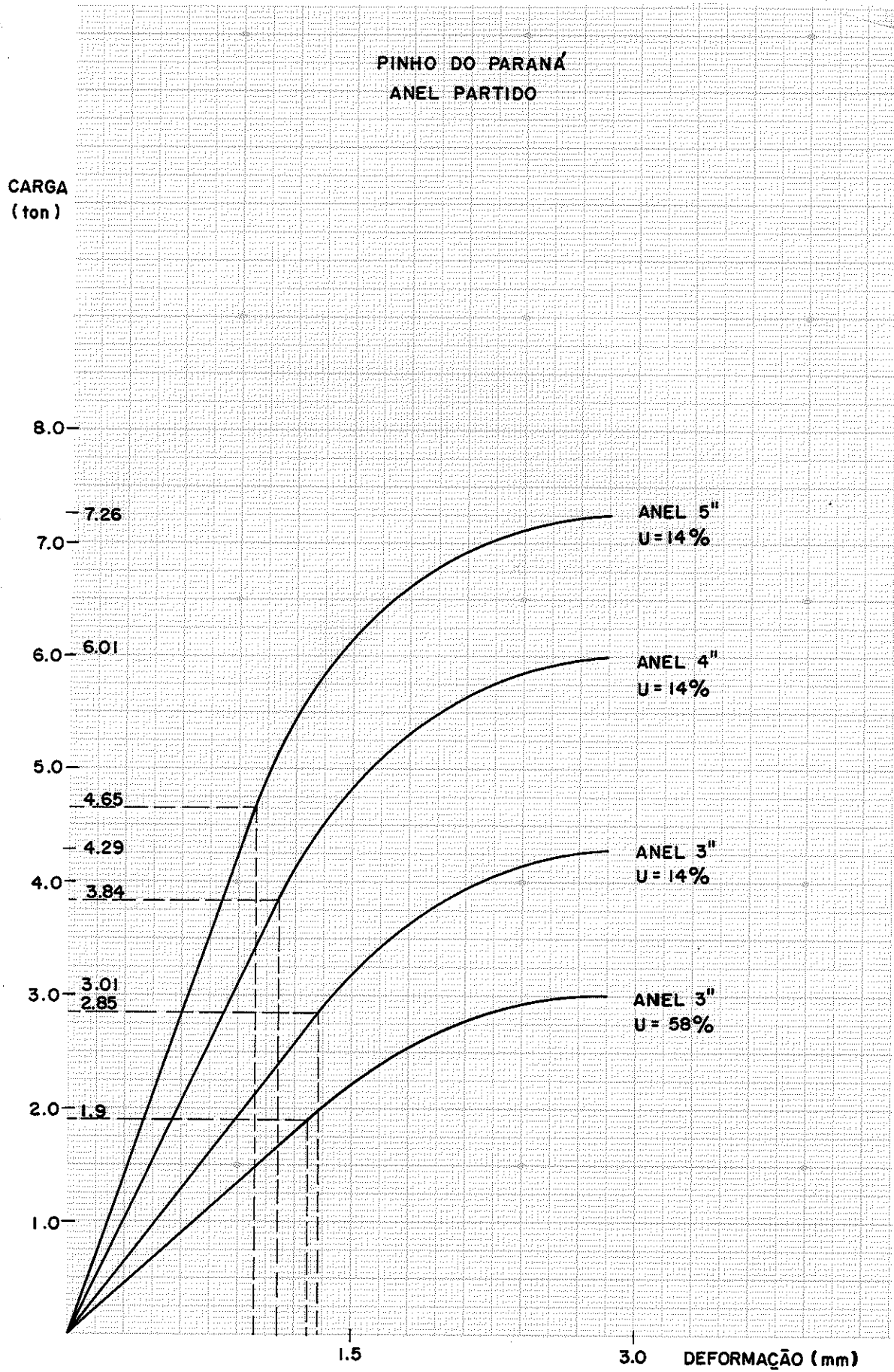
Os corpos de prova com anéis de 3", 4" e 5" de madeira com umidade mais elevada, foram ensaiados e os resultados são apresentados na tabela nº 48.

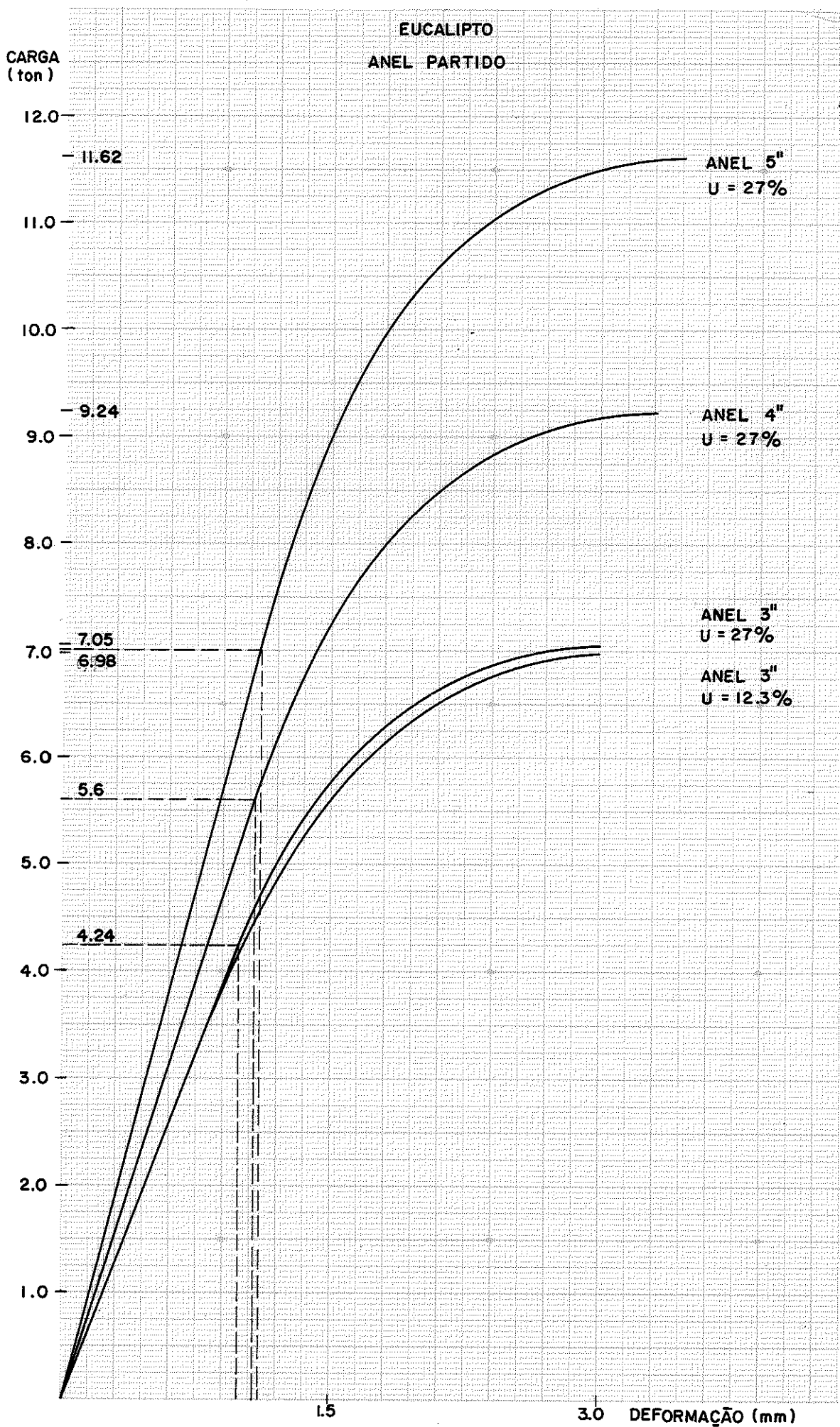
TABELA Nº 48 - Corpos de Prova de Eucalipto Citriodora Saturados

C.P.	U %	ρ g/cm ³	σ kg/cm ²	τ kg/cm ²	E kg/cm ²	ANEL 3" kg	ANEL 4" kg	ANEL 5" kg
1	24,9	1,05	624	181	243100	7404	9545	12699
2	29,1	1,13	576	189	187300	6474	8831	10928
3	23,8	1,03	559	177	250900	7038	9183	11420
4	25,5	0,93	502	156	229400	6192	8493	11122
5	30,3	1,13	603	191	205800	8101	10159	11952
Média	27,0	1,06	573	179	223300	7042	9242	11624

A influência da umidade no Eucalipto Citriodora, não é significativa. A capacidade de carga do anel de 3", para a madeira seca ao ar, como para a madeira com a umidade elevada, são semelhantes. No gráfico nº 32 vê-se o comportamento dos anéis dos corpos de prova de Eucalipto Citriodora. A curva dos anéis de 3" são iguais para as umidades diferentes.

Gráfico 31





4 - CONCLUSÃO

4.1 - Capacidade Admissível de Carga nos Anéis de 3", 4" e 5".

Os anéis metálicos, de canos de água galvanizados estudados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de madeira, através de ampla experimentação, revelaram-se muito eficientes para a ligação de peças estruturais de madeira, por apresentarem grande capacidade de carga e pequena deformação.

A norma brasileira NB-11 de 1951, recomenda para os esforços admissíveis nas ligações o menor dos seguintes valores:

- 50% do limite de proporcionalidade.
- 20% do limite de resistência
- esforço correspondente ao deslocamento relativo de 1,5 mm entre as peças.

O menor dos 3 valores recomendados pela NB-11, para todos os ensaios realizados com anéis metálicos, seria o de 20% do limite de resistência, valor este inferior à capacidade de melhor aproveitamento dos anéis.

Na maioria dos ensaios as deformações nos limites de proporcionalidades são inferiores a 1,5 mm.

Devido a alta capacidade de carga e pequena deformabilidade das ligações com anéis metálicos, adotou-se como carga admissível 33,3% ou seja 1/3 da carga de ruptura, para os diâmetros e espécies de madeira estudadas. Um terço da carga de ruptura é aproximadamente 50% do limite de proporcionalidade e as deformações não ultrapassam 0,8 mm, obtendo-se maior aproveitamento da capacidade de carga dos anéis. Ensaios aplicando este carregamento, apresentaram comportamento excelente.

Os parafusos de 1/4" de diâmetro utilizados nos ensaios com os anéis de 3" e 4", 5/16" para os anéis de 5", foram suficientes, apresentando deformações apenas na fase de ruptura dos corpos de provas.

Para as cargas admissíveis recomenda-se diâmetro dos parafusos ligeiramente superior ao utilizado nos ensaios, para maior segurança.

Na tabela nº 49 tem-se as cargas admissíveis dos anéis de 3, 4 e 5" para as espécies de madeira estudadas e os diâmetros mínimos dos parafusos a serem utilizados.

TABELA Nº 49 - Carga Admissível dos Anéis de 3", 4" e 5"

ESPÉCIE DE MADEIRA	Diâmetro Interno do Anel		Carga Admissível por Anel kg	Diâmetro do Parafuso	
	Pol.	cm		Pol.	cm
PINHO DO PARANÁ	3	7,62	1430	5/16	0,79
	4	10,16	2000	5/16	0,79
	5	12,7	2420	5/16	0,79
PEROBA ROSA	3	7,62	2060	5/16	0,79
	4	10,16	2670	5/16	0,79
	5	12,70	3500	3/8	0,95
EUCALIPTO CITRIODORA	3	7,62	2350	5/16	0,79
	4	10,16	3080	3/8	0,95
	5	12,7	3870	3/8	0,95

Das 3 madeiras estudadas, o Pinho do Paraná é a única que sofre grande influência da umidade. Estruturas montadas com madeira verde, (umidade elevada) sujeita a perder umidade em serviço, são calculadas utilizando-se os valores da tabela. Caso a umidade se mantenha elevada adota-se 70% das cargas tabeladas.

4.2 - Capacidade Admissível de Carga nos Anéis de 6", 7" e 8".

A capacidade de carga admissível para os anéis acima de 5", ou espécies de madeira não estudadas, pode ser calculada através da equação geral, estudando assim a favor da segurança:

$$\bar{P} = \frac{\pi \phi^2}{4} \bar{\tau} \quad \text{sendo:}$$

$\bar{\tau}$ = tensão admissível de cisalhamento nas ligações

A capacidade de carga do Anel de 6" na Peroba Rosa calculada pela equação geral é menor que a do anel de 5" do ensaio. Neste caso, toma-se a média entre a carga admissível do anel de 5" do ensaio e a carga admissível do anel de 7" calculada pela equação geral.

A carga admissível para os ensaios de 6" e 7" calcula

lada pela fórmula geral para o Pinho do Paraná é menor que a do anel de 5" dos ensaios. Obtendo o valor da carga admissível do anel de 8" calculado pela equação geral e a do anel de 5" do ensaio interpolam-se valores para os anéis de 6" e 7".

Na tabela nº 50 são apresentadas as cargas admissíveis para os anéis de 6", 7" e 8".

TABELA Nº 50 - Carga Admissível para os anéis de 6,7 e 8"

ESPÉCIE DE MADEIRA	Diâmetro Interno do Anel		Carga Admis- sível por Anel kg	Diâmetro do Parafuso	
	Pol.	cm		Pol.	cm
PINHO DO PARANÁ	6	15,24	2600	-	-
	7	17,78	2780	3/8	0,95
	8	20,32	2970	-	-
PEROBA ROSA	6	15,24	4000		
	7	17,78	4520	1/2	1,27
	8	20,32	5900		
EUCALIPTO CITRIODORA	6	15,24	4540		
	7	17,78	6180	1/2	1/27
	8	20,32	8070		

4.3 - Capacidade Admissível de Carga nos Anéis Fechados:

Na utilização dos anéis fechados, pode-se aumentar as cargas admissíveis dos anéis partidos tabelados, em 5%.

4.4 - Capacidade de Carga dos Anéis Submetidos a Esforços em Ângulo com a Direção das Fibras:

Os ensaios demonstraram a validade da fórmula de Hankinson para o cálculo da capacidade de carga dos anéis submetidos à esforços em ângulo com a direção das fibras, conhecida a capacidade de carga paralela e normal às fibras e a inclinação θ .

Alguns autores como Giordano assumem a carga admissível perpendicular às fibras como sendo 50% da carga admissível paralela às fibras. Hansen, Ozelton e Baird já adotaram 70%

Nos ensaios realizados no LAMEM a capacidade de carga perpendicular às fibras variou entre 56% e 60% da capacidade de carga paralela às fibras. Parece pois adequado adotar-se o valor de 60%, intermediário entre os resultados experimentais e entre a opinião de autores citados.

Com base neste raciocínio e nos resultados experimentais tabelados anteriormente calcularam-se os valores para carga admissível em função da inclinação dos esforços segundo a fórmula de Hankinson, apresentados na tabela nº 51..

TABELA Nº 51 - Carga Admissível dos Anéis em Função da Inclinação dos Esforços.

φ Pol	θ ESPÉCIE	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
3"	Pinho	1430	1369	1226	1072	953	882	858
	Peroba	2060	1972	1766	1545	1373	1270	1236
	Eucalipto	2350	2249	2014	1762	1567	1449	1410
4"	Pinho	2000	1914	1714	1500	1333	1233	1200
	Peroba	2670	2556	2288	2002	1780	1646	1602
	Eucalipto	3080	2948	2640	2310	2053	1899	1848
5"	Pinho	2420	2316	2074	1815	1629	1492	1452
	Peroba	3500	3350	3000	2625	2333	2158	2100
	Eucalipto	3870	3704	3317	2902	2580	2386	2322

A partir dos valores da tabela nº 51 obteve-se o gráfico nº 33 para avaliar a capacidade de carga dos anéis de 3" 4" e 5" em função da inclinação dos esforços em relação à direção das fibras da madeira.

Pelo gráfico pode-se achar a carga admissível do anel, qualquer que seja o ângulo de inclinação das cargas em relação às fibras.

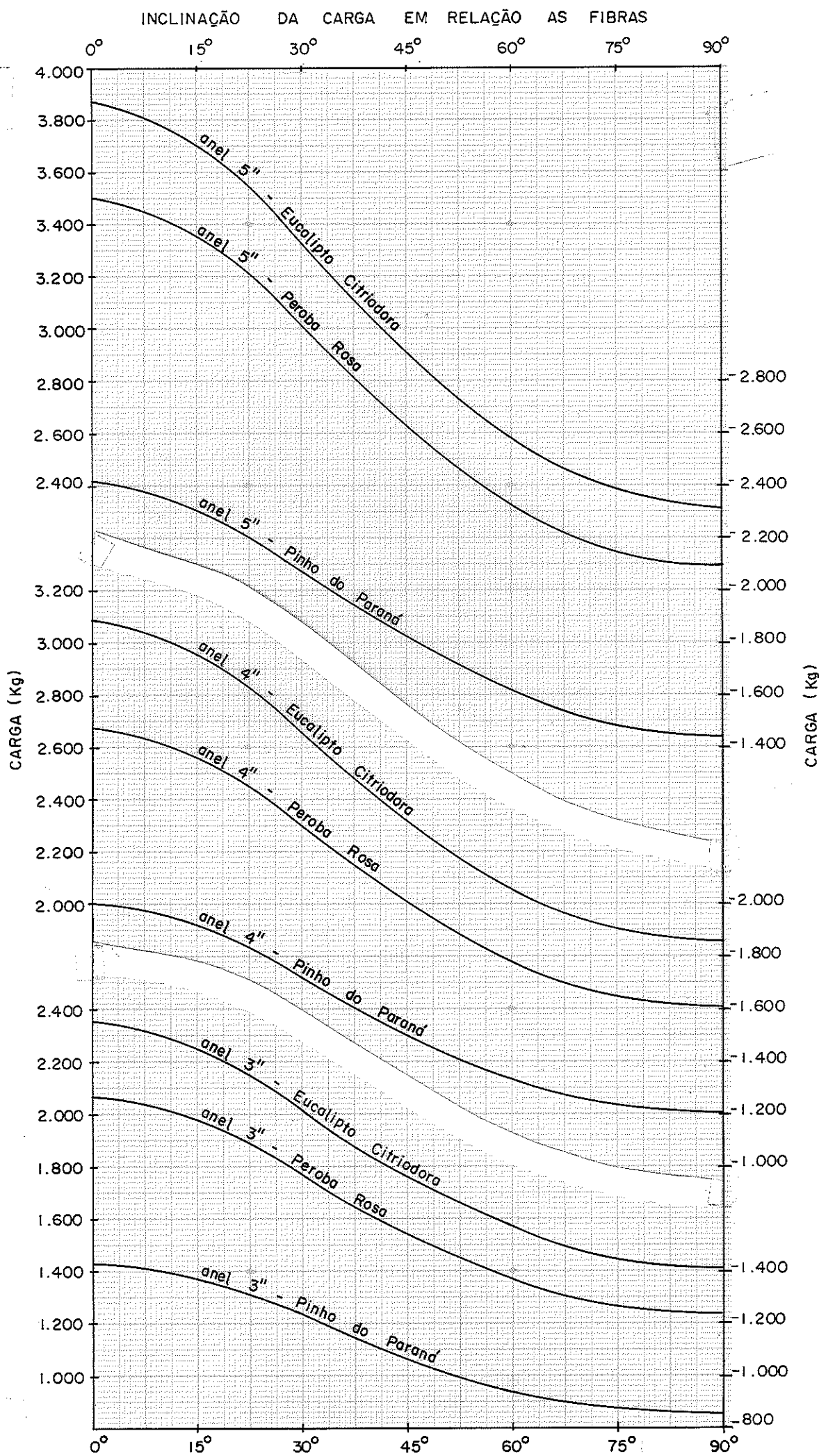
Para outras espécies de madeira pode-se calcular a carga admissível do anel paralela às fibras pela expressão:

$$\bar{P} = \frac{\pi \phi^2}{4} \bar{\tau}$$

conhecido esta carga e adotando-se:

$$\bar{P}_{90^\circ} = 0,6 \bar{P}_{0^\circ}$$

Gráfico 33



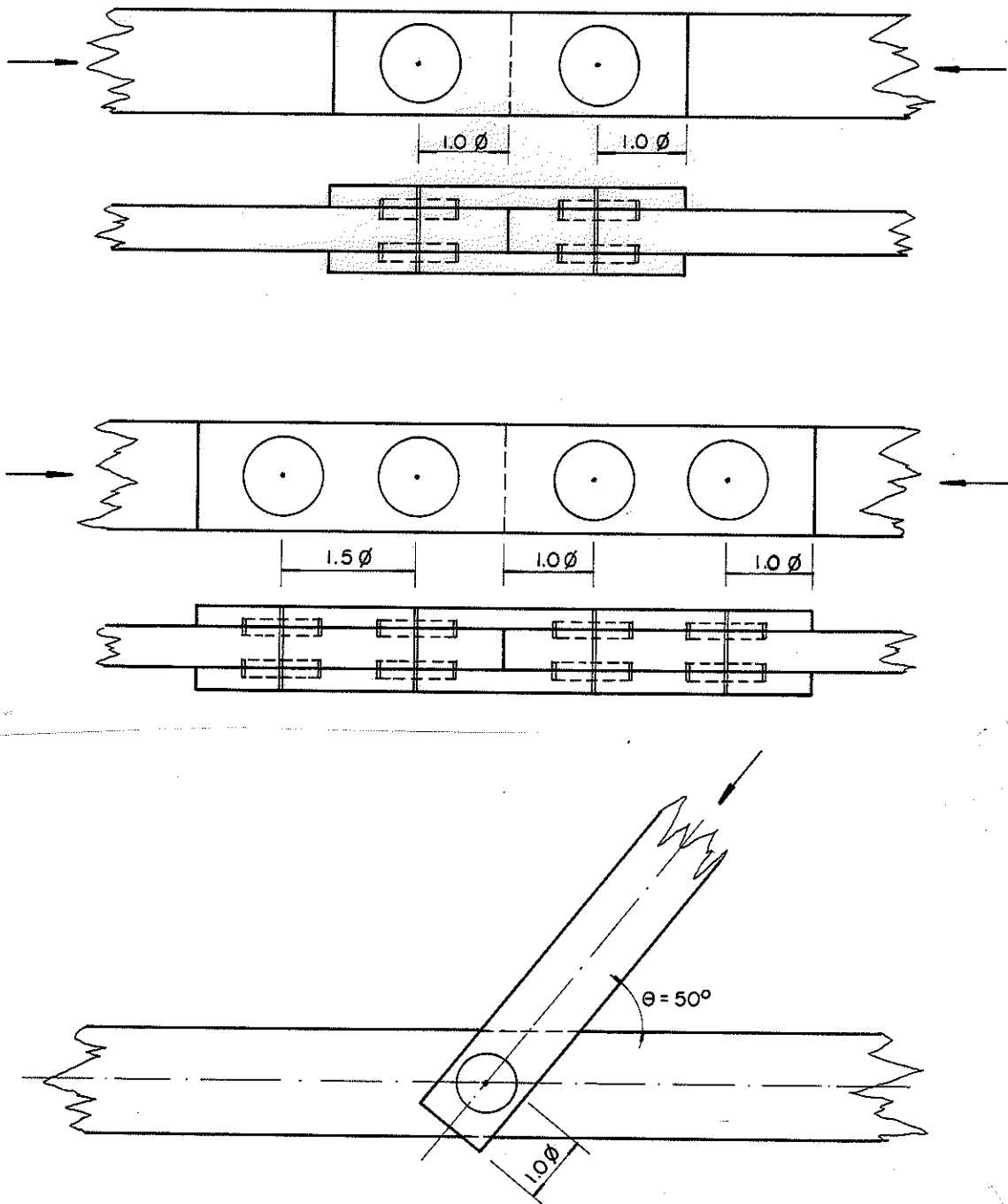
e a fórmula de Hankinson, obtem-se a carga admissível do anel em função da inclinação do esforço em relação à direção das fibras.

4.5 - Dois ou mais Anéis por Ligação:

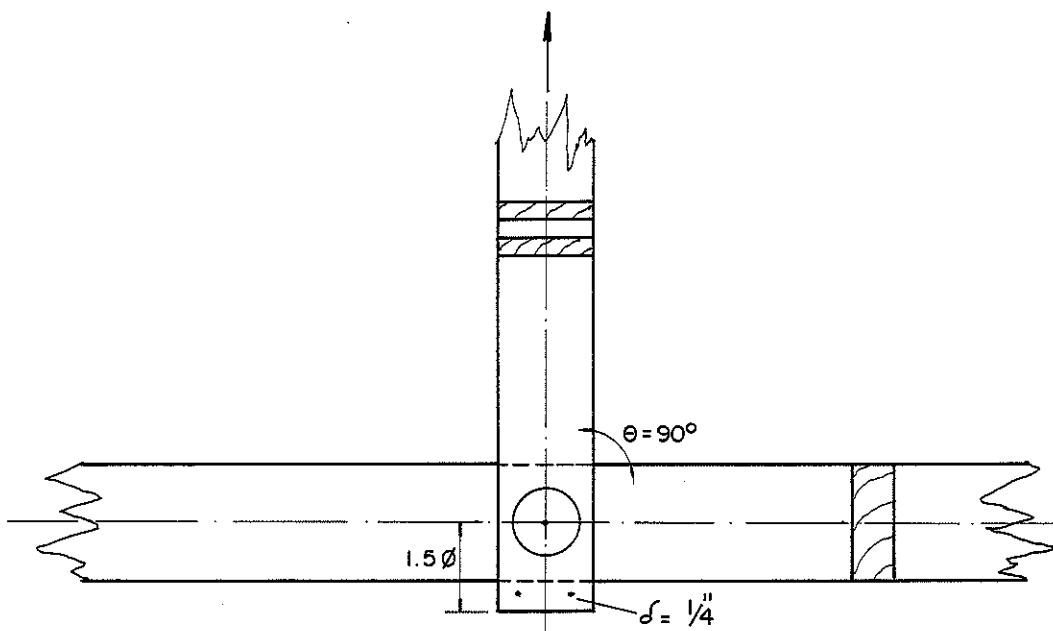
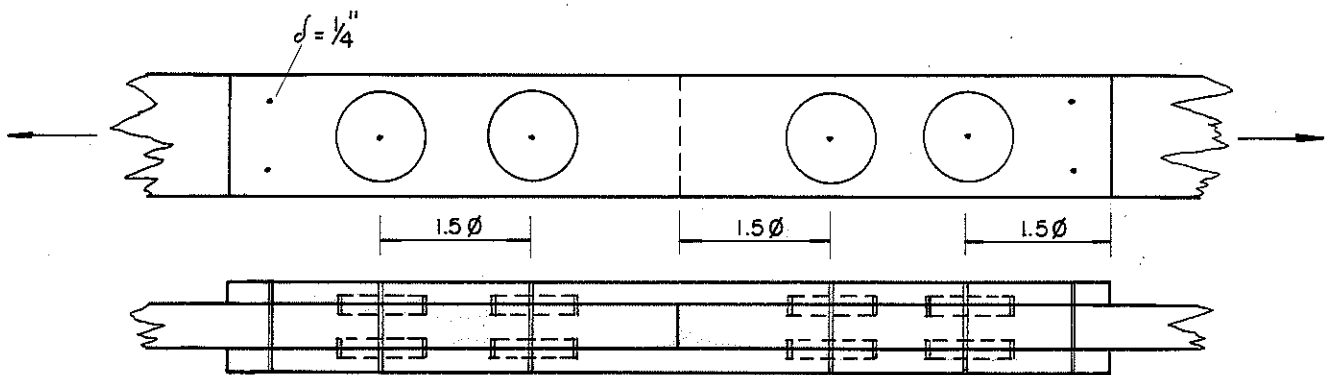
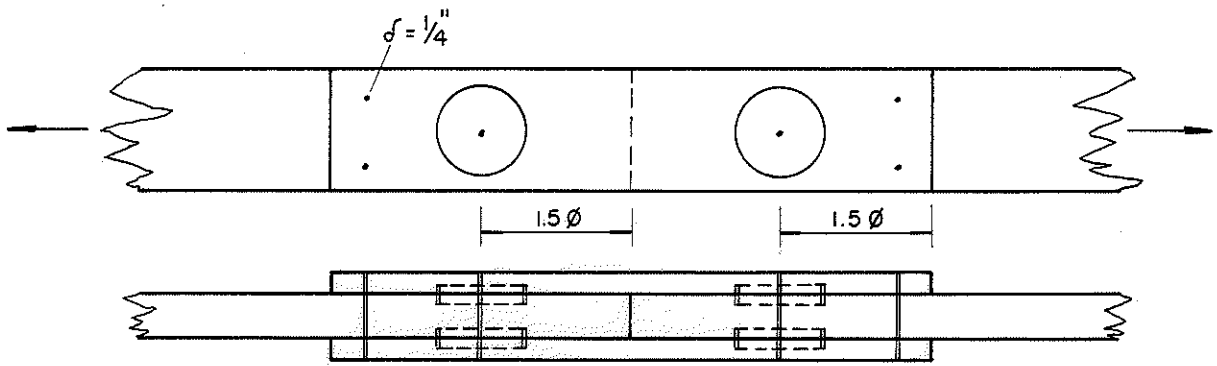
Para a utilização de mais de um anel de cada lado de uma ligação deve-se considerar a resistência útil admissível à tração remanescente após a colocação dos anéis. Esta resistência deve ser superior à capacidade admissível total dos anéis.

4.6 - Distâncias Recomendadas:

4.6.1 - Ligações de Compressão:



4.6.2 - Ligações de Tração:



5 - APLICAÇÕES DOS ANÉIS METÁLICOS

5.1 - Estruturas em Treliça:

O emprego dos anéis metálicos nas estruturas em treliça, principalmente as constituídas por peças 6 x 12 cm e 6 x 16 cm não oferece dificuldades pois toda a experimentação relatada anteriormente foi baseada nas situações usuais na ligação das peças das tesouras e vigas em treliça.

5.2 - Cobre-Juntas de Aço:

Em algumas estruturas de madeira ocorre a necessidade de ligação de peças de madeira sem a possibilidade de utilização de cobrejuntas convencionais.

Com base no estudo teórico e experimental dos anéis fechados surgiu a possibilidade do emprego destes anéis soldados em placas de aço.

A adoção da placa de aço como-cobrejunta, com a utilização dos anéis de aço melhora a eficiência da ligação.

Na fig. nº 78 tem-se o esquema de uma ligação de postes de madeira através de cobrejuntas de aço e anéis metálicos.

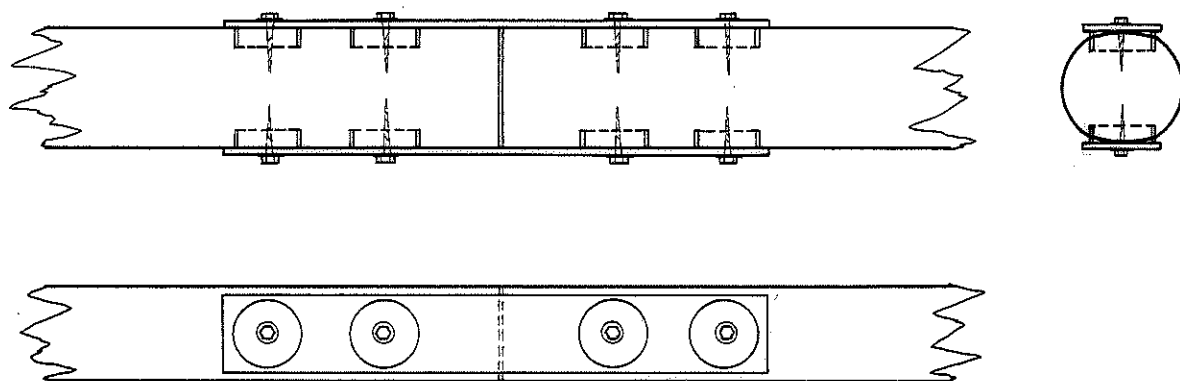


Fig. 78 - Cobrejunta de Aço com Anéis Metálicos

Na figura nº 79 tem-se o esquema e a fotografia de uma ligação múltipla entre postes de madeira de uma ponte.

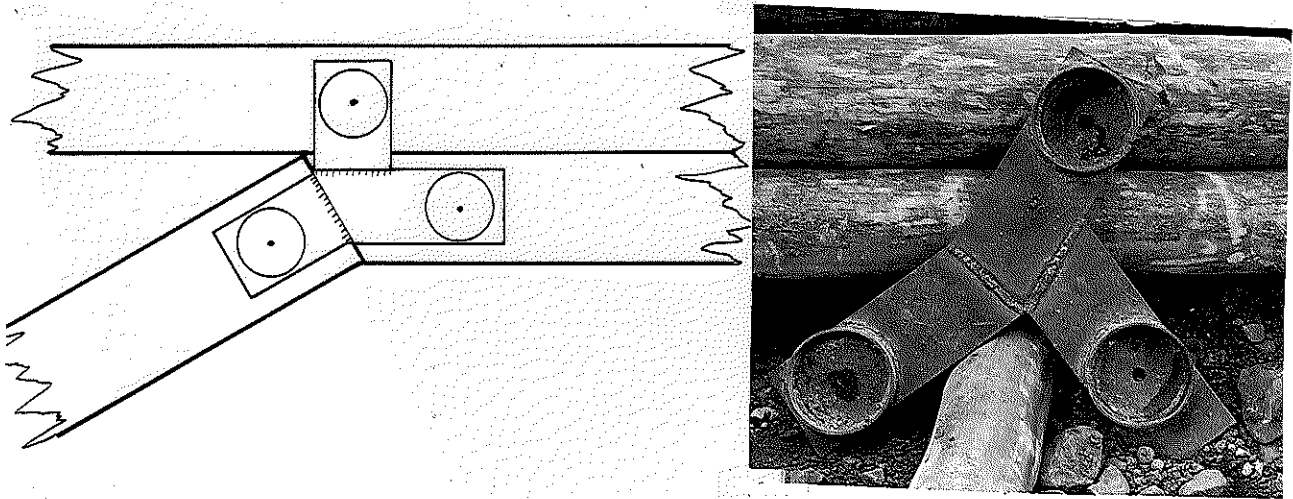


Fig. 79 - Esquema e Fotografia de uma Ligação Múltipla

5.3 - Vigas Bicirculares:

5.3.1 - Montagem das Vigas Bicirculares:

As vigas bicirculares foram apresentadas por Hellmeister (72), são constituídas por dois postes semelhantes interligados por anéis metálicos.

Para a montagem da viga, tendo um poste sobre o outro, providencia-se a furação para os parafusos das extremidades e a sua colocação para garantir a perfeita concordância dos demais furos, pela imobilidade relativa dos postes, figura nº80.

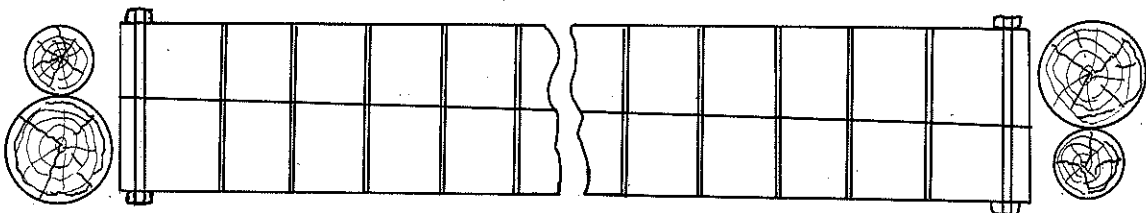


Fig. 80 - Viga Bicircular

Faz-se o alargamento do furo para que a porca superior fique embutida no poste, figura nº 81.

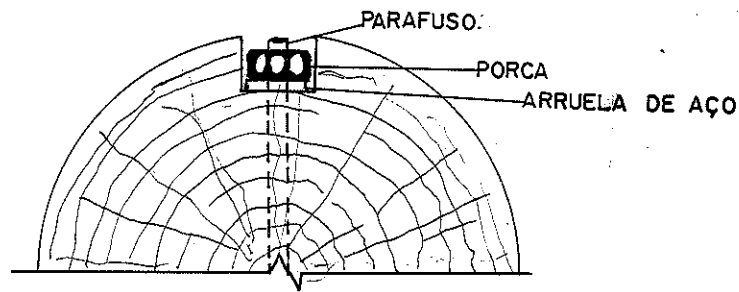


Fig. 81 - Porca Embutida no Poste

Feitos os furos e os encaixes, das porcas, tiram-se os parafusos das extremidades, gira-se o poste superior de maneira a deixar voltadas para cima as áreas de contacto dos postes e procede-se a preparação dos sulcos para o encaixe dos anéis com ferramenta própria, figura nº 82.

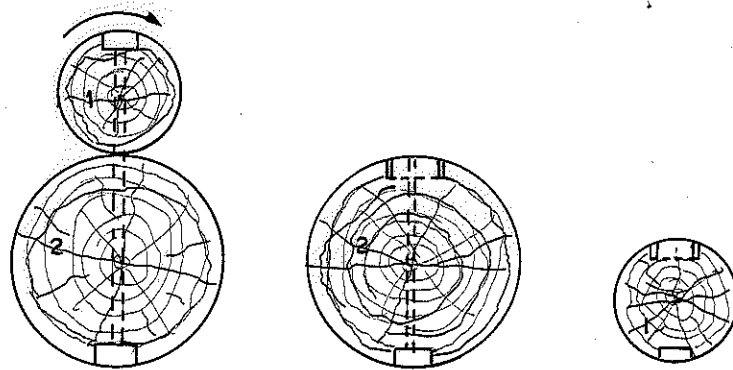


Fig. 82 - Preparação dos Sulcos dos Anéis

Colocam-se os anéis com a abertura voltada para fora dos postes, alternadamente, figura nº 83.

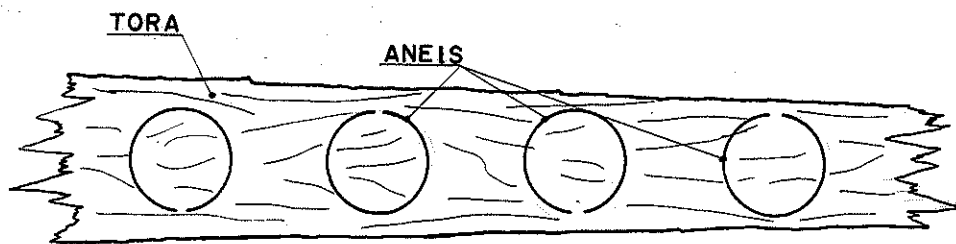


Fig. 83 - Colocação dos Anéis

(72) Hellmeister, J.C. - Postes de Eucalipto Citriodora - Tese de Livre Docência - Escola de Engenharia de São Carlos - USP - São Carlos - 1978.

A seguir os postes são posicionados para a montagem final. Promove-se a justaposição dos postes, apertando-os com auxílio de macacos hidráulicos e prendendo-os com os parafusos, figura nº 84.

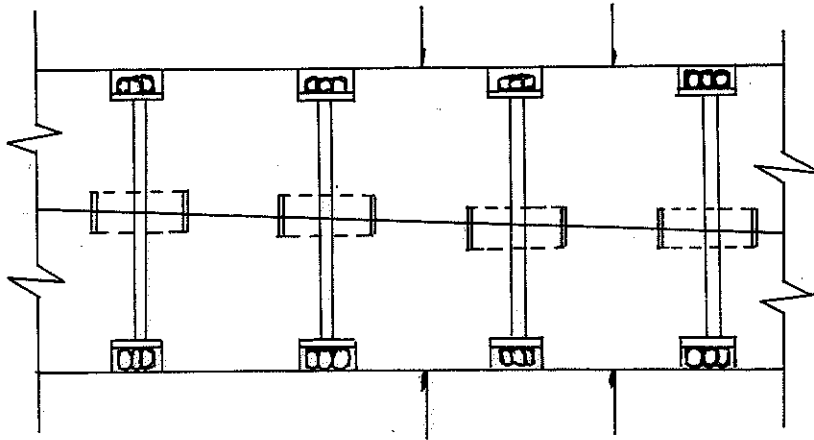


Fig. 84 - Aperto com Auxílio de Macaco Hidráulico

5.3.2 - Anéis Metálicos para Ligação de Postes Circulares de Diâmetros Decrescentes:

A experimentação desenvolvida no LAMEM tem indicado a conveniência de se adotar como diâmetro máximo dos anéis a serem usados na ligação de postes de madeira 0,8 do menor diâmetro da peça a ser utilizada.

Os anéis são embutidos entre as peças para vencer o cisalhamento devido à flexão, figura nº 85.

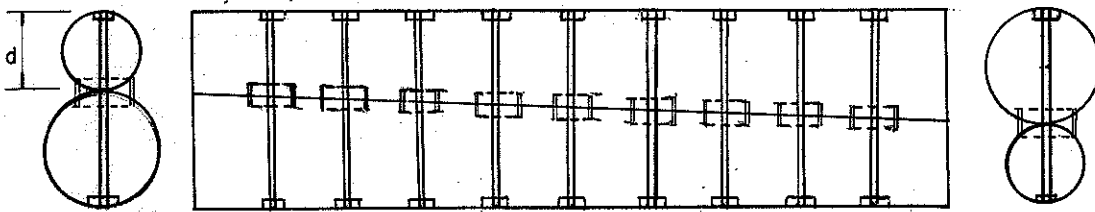
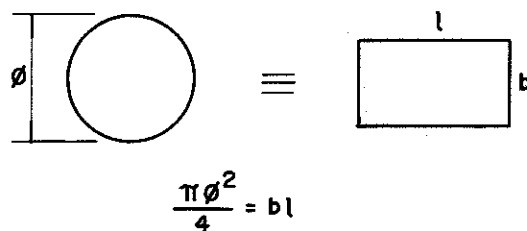


Fig. 85 - Anéis Embutidos entre as Peças.

Diâmetro máximo do anel a ser utilizado:

$$\phi_{\text{anel}} = 0,8 d$$

A área de cisalhamento do anel é assimilada à área de cisalhamento de um trecho de viga convencional.



Considerando-se o cisalhamento da flexão, pode-se adotar:

$$\tau = \frac{Q M_s}{b J}$$

Multiplicando-se ambos os membros da equação por $b \ell$, tem-se:

$$b \ell \cdot \tau = \frac{Q M_s}{b J} b \ell$$

Admitindo-se o comportamento equivalente da seção circular do anel e da seção retangular:

$$\bar{P}_{\text{anel}} = \frac{\pi \phi^2}{4} \bar{\tau} = b \ell \bar{\tau}$$

$$\bar{P}_{\text{anel}} = \frac{Q M_s}{b J} b \ell \rightarrow \text{resultando:}$$

$$\ell = \frac{\bar{P}_{\text{anel}} \cdot J}{Q \cdot M_s} \quad \text{sendo:}$$

ℓ - distância de centro a centro entre anéis.

ϕ - diâmetro do anel

\bar{P}_{anel} - carga admissível do anel

J - momento de inércia da seção

M_s - momento estático da seção

Q - força constante

A experimentação desenvolvida no LaMEM tem permitido adotar-se como espaçamento mínimo entre anéis:

$$\ell = 1,5 \phi$$

Para o dimensionamento da ligação, adota-se inicialmente um diâmetro qualquer e calcula-se o espaçamento ℓ . Se $\ell \geq 1,5 \phi$ o anel adotado está coerente com a ligação, caso contrário, adota-se um anel de diâmetro maior, não ultrapassando $0,8 d$ e refaz-se o cálculo.

Devido às características peculiares da madeira a NB-11 indica a possibilidade de reduzir as tensões de cisalhamento junto aos apoios, de acordo com a expressão

$$\tau = \frac{Q M_s}{b j} \frac{x}{3d}$$

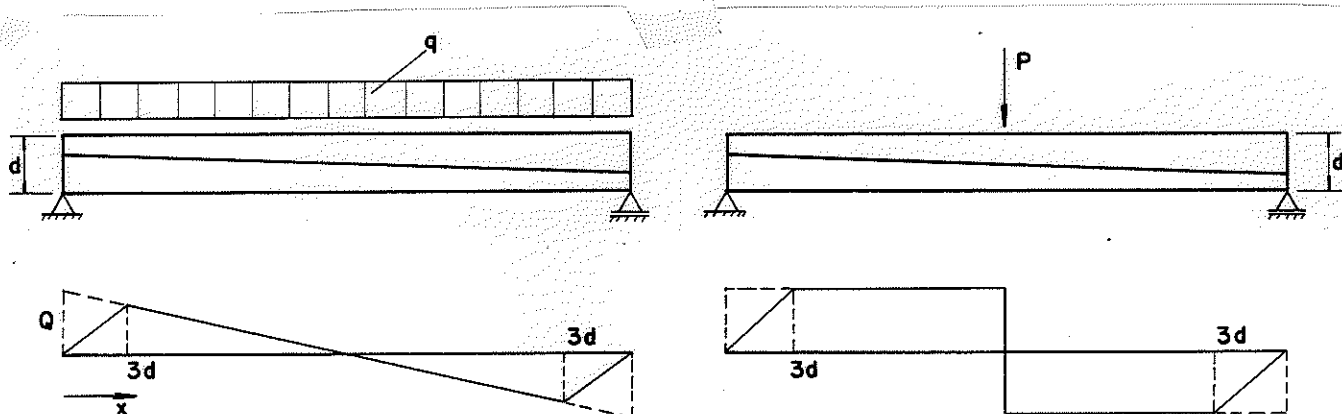


Fig. 86 - Redução das Tensões de Cisalhamento junto aos Apôios

5.3.3 - Altura do Anel para Peças Circulares de Diâmetros Decrescentes:

No cálculo da altura mínima do anel na ligação de duas peças circulares decrescentes, usa-se a fórmula:

$$h = \frac{\pi D}{4} \frac{\tau}{\sigma_c}$$

apresentada anteriormente. Considerando-se a existência de um acréscimo f na altura do anel que não penetra no poste devido a sua seção ser circular, calcula-se a altura dos anéis para as vigas bicirculares graficamente. Por exemplo, tomando-se dois postes de diâmetro menor $d = 20$ cm e maior $D = 40$ cm com comprimento igual a 20 m, obtém-se graficamente, figura nº 87.

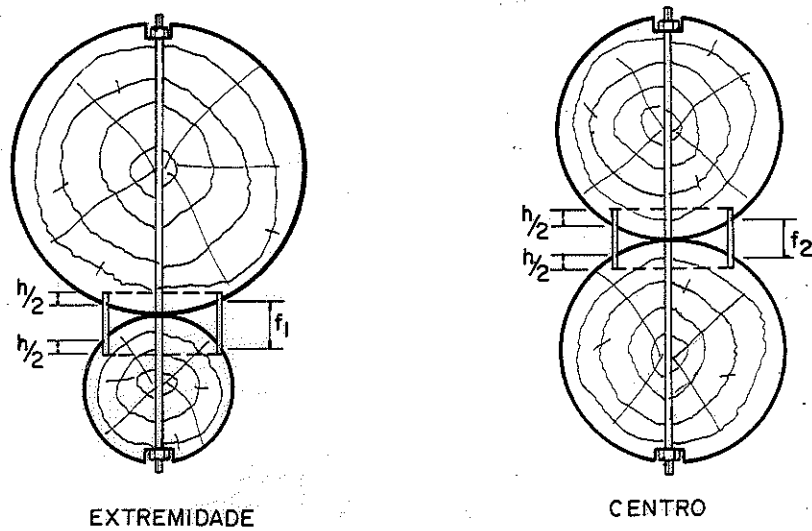


Fig. 87 - Altura dos Anéis nas Vigas Bicirculares

Para maior eficiência operacional adota-se a altura mínima:

$$H_{\min} = \frac{f_1 + f_2}{2} + h_{\min}$$

f_1 = altura do anel na extremidade da viga que não penetra na madeira.

f_2 = altura do anel no meio da viga que não penetra na madeira.

Na montagem da viga, escolhidas as faces de contacto é aconselhável aplainá-las, principalmente para eliminar defeitos ou irregularidades, diminuindo a altura f de acréscimo e dando maior rigidez à viga, figura nº 88.

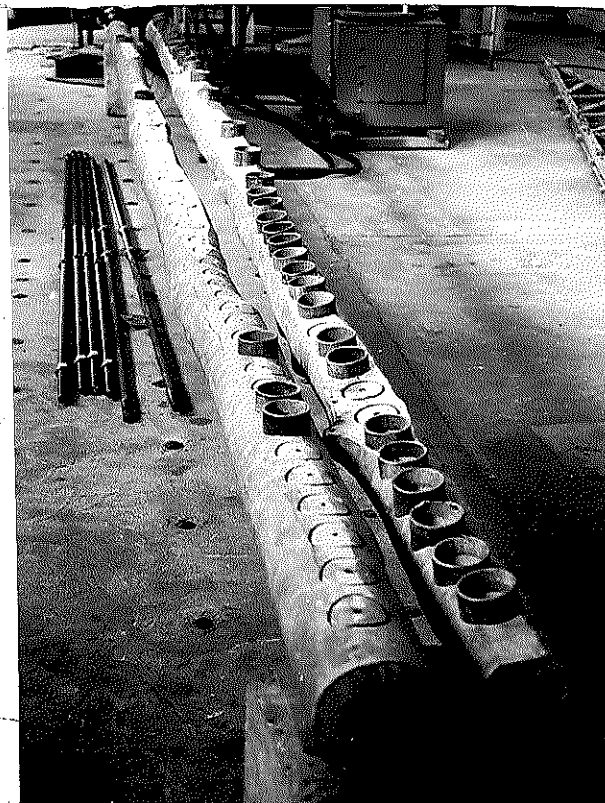


Fig. 88 Montagem da Viga

5.3.4 - Pontes de Postes de Madeira:

Os postes de madeira associados através dos anéis metálicos transformam-se em excelentes vigas para a construção de pontes.

Na figura nº 89 vê-se uma viga rompida experimentalmente destacando-se o esmagamento por compressão do poste superior e a ruptura típica de tração do poste inferior.



Fig. 89 Ruptura da Viga

Na figura nº 90 vê-se o efeito da ruptura por cisalhamento da madeira interna ao anel de ligação.



Fig. 90 Ruptura por Cisalhamento

Nas figuras nº 91 e 92 tem-se um exemplo de aproveitamento das vigas bicirculares na construção de uma ponte classe 36, de 21 m de comprimento.

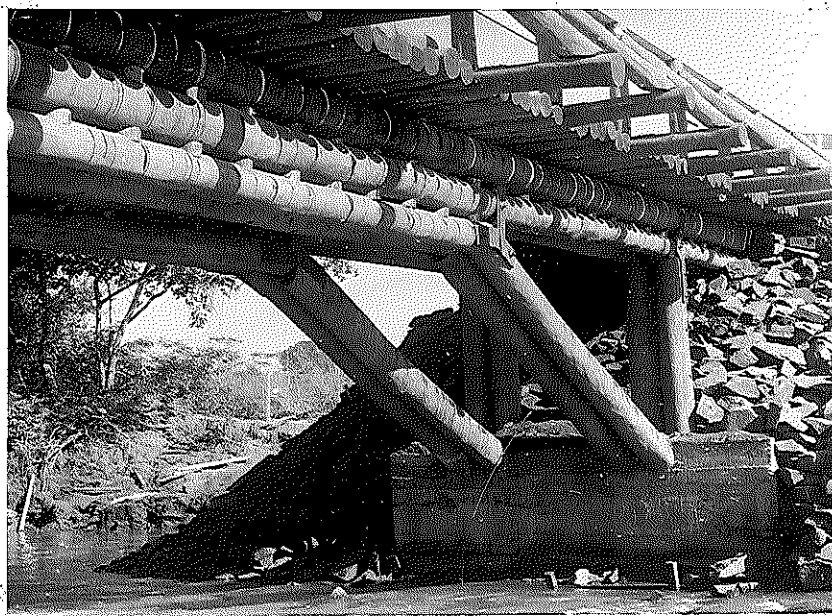


Fig. 91 - Ponte Classe 36



Fig. 92 - Ponte Classe 36

Nas figuras nº 93 e 94 tem-se um exemplo de aproveitamento das vigas bicirculares na construção de uma ponte pênsil de 62 m de comprimento.

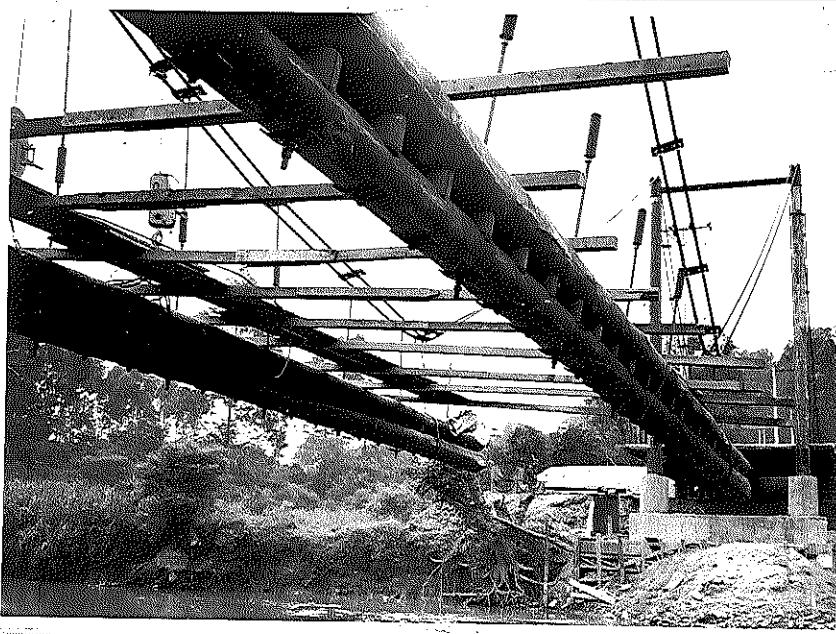


Fig. 93 - Ponte Pênsil

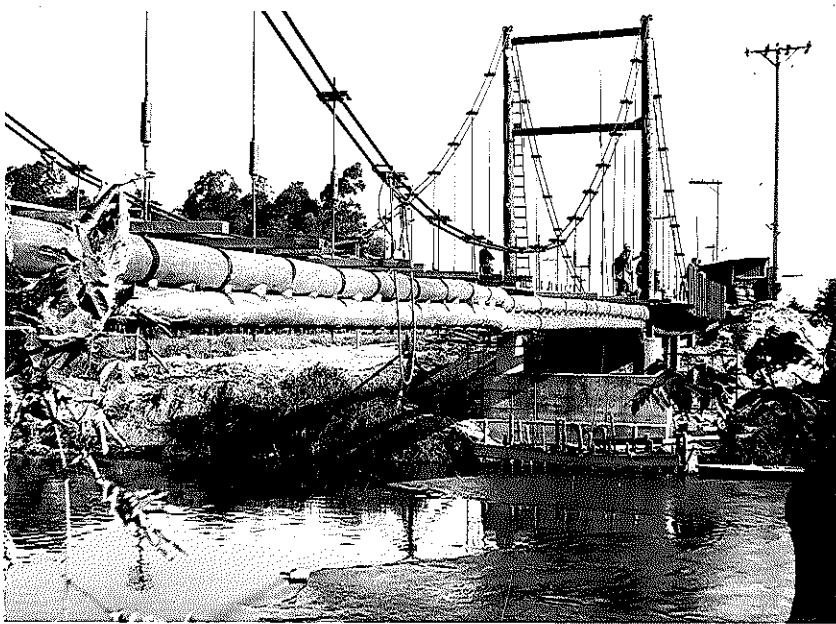


Fig. 94 - Ponte Pênsil

BIBLIOGRAFIA CITADA

- 1 - HANSEN, Howard J. - Diseño Moderno de Estructuras de Madera. México, Continental, 1961. 349 p.
- 2 - GIORDANO, Guglielmo - La Moderna Técnica Delle Construzioni in Legno. Milão, Uerico Hoepli, 1964. 798p.
- 3 - HEMPEL, G. - Freigespannte Hoelzbinder. 6. ed. Karlsruhe, Bruderverlag, 1959. 408 p.
- 4 - HANSEN, Hoard J. - Modern Timber Design. New York, John Wiley & Sons, 1943. 312 p.
- 5 - AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION - Timber Construction Manual. 2. ed. New York, John Wiley an Sons, 1974. 393 p.
- 6 - GATTNAR, Anton & TRYSNA, Franz - Hölzerne dach-und Hallen bauten. Berlin, Verlag Von Wilhelm Ernest & Sohn, 1954. 348 p.
- 7 - GASC, Yves & Del PORTE, Robert - Les Charpents en Bois. Paris, Eyrolles, 1954. 327 p.
- 8 - FOREST PRODUCTS LABORATORY - Wood Handbook. USDA-FS, Mad., WI, 1955, 528 p. (Agriculture Handbook, 72).
- 9 - PEARSON, R.G., KLOOT, N.H.; BOYD, J.D. - Timber Engineering Design Handbook. Austrália, Melbourne University, 1958. 248 p.
- 10 - BROCHARD, F - Bois et Charpentes en Bois: Le Matérian et son Utilization. Paris, Eurolles, 1960. 255 p.
- 11 - OBERG, F.R. - Heavy Timber Construction. California, American Technical Society, 1963. 373 p.
- 12 - OZELTON, E.C. & BAIRD, J.A. - Timber Designers Manual. Londres, Crosby Lookwood Staples, 1976. 518 p.
- 13 - ZURITA, Carlos E; DI BERNARDO, L.; RIZZO, Sergio A. - Ligações entre Peças Estruturais de Madeira: Anéis Metálicos. Trabalho de Formatura. Orientador: João Cesar Hellmeister. São Carlos, EESC - USP, 1971.
- 14 - BASSO, Luis Ernesto - Ligação de Peças Estruturais de Madeira por Anéis Metálicos. São Carlos, EESC-USP, 1976/77. Iniciação Científica. Orientador: João Cesar Hellmeister. (Relatório n°s 1, 2, 3 e 4).

- 15 - HELLMMEISTER, J.C. - Ponte Rodoviária: Estrada Ibitinga - Borborema. São Carlos, EESC-USP, 1974.
- 16 - HELLMMEISTER, J.C. - Pontes de Eucalipto Citriodora. São Carlos, EESC-USP, 1978. 85p. Tese (Livre Docência).
- 17 - HELLMMEISTER, J.C. - Sobre a Determinação das Características Físicas da Madeira. São Carlos, EESC-USP, 1981. 119 p.
- 18 - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS - Madeiras Nacionais: Tabela de Resultados de Ensaio Físicos e Mecânicos. Sep. da 2.^a ed. do Boletim nº 31. São Paulo, IPT, 1956.

