

PROMOÇÃO

CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
EEUFMG	Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - Departamento de Engenharia de Estruturas - Departamento de Materiais e Construção Civil
IBRAMEM	Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas de Madeira

PATROCÍNIO

FINEP
Fundação Christiano Ottoni
GANG-NAIL do Brasil
Governo do Estado de Minas Gerais
IBAMA/LPF
Korum Turismo
Montana Química
Projeto da Qualidade Total

587 3

ANALIS

V
EBRAMEM

1995

VOLUME II

Anexo 01-Propriedades físicas e mecânicas de Eucalyptus grandis, determinadas pelo IPT-SP.(extraído de ANDRADE,1961).

Propriedades			Umidade	unidade	valor
Propriedades físicas	Peso específico			g/cm ³	0.71
	Contrações	radial		%	5.5
		tangencial		%	11.6
		volumétrica		%	18.8
	Coeficiente de Retratibilidade			%	0.55
Propriedades mecânicas	Flexão estática	Mód. Resistência	Madeira verde	kgf/cm ²	894
			Madeira 15% U	kgf/cm ²	1085
	Flexão	Mód. Elasticidade	Madeira verde	kgf/cm ²	125800
			Madeira 15% U	kgf/cm ²	385
	Compressão Axial	Mód. Resistência	Madeira verde	kgf/cm ²	509
			Madeira 15% U	kgf/cm ²	179100
	Compressão Tração normal	Mód. Elasticidade	Madeira verde	kgf/cm ²	71
			Madeira 15% U	kgf/cm ²	580
	Dureza Janka	(D ₀)		kgf/cm ²	109
	Cisalhamento	(fv)		kgf/cm ²	9.2
	Fendilhamento	(ffen)		kgf/cm ²	3.6
	Choque	Trabalho absorvido	Madeira 15% U		

CARLITO CALIL JR.¹

ADRIANO WAGNER BALLARIN²

EDMAR MARTINELLI³

RESUMO: O estudo da fluência na madeira é de grande importância para a definição de parâmetros de cálculo no estado limite de utilização. A previsão da história de carregamento das estruturas de madeira, permite aos calculistas a realização de projetos mais otimizados e, consequentemente, mais racionais e econômicos. Este trabalho tem como objetivo a análise experimental da fluência em peças fletidas de madeira, como suporte científico ao projeto de revisão da NBR 7190 - Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira. Os ensaios são conduzidos utilizando-se a metodologia proposta por SILVA (1989). Foram ensaiadas oito peças de madeira, sendo quatro de Eucalipto Citriodora e quatro de Pinus Elliotti. Os ensaios foram realizados considerando-se os tempos de carregamento de duração instantânea, curta duração (menos de uma semana) e de média duração (de uma semana a seis meses), verificando-se, para esses casos, o acréscimo na flecha e nas tensões. Os resultados obtidos mostram que a versão atual da norma indica, para carregamentos permanentes, uma redução do módulo de elasticidade menor que a obtida pelos resultados experimentais para madeiras de baixa densidade.

1. INTRODUÇÃO

Os ensaios normalmente realizados para determinação das características mecânicas de resistência e deformabilidade das madeiras são executados com a aplicação das cargas num intervalo de tempo relativamente curto, de, no máximo, 5 minutos.

Esta situação difere sensivelmente da enfrentada pelos elementos estruturais em serviço, visto que, para muitos deles, o carregamento atuará durante toda a sua vida útil.

Particularmente para a madeira, a fluência — fenômeno de acréscimos progressivos na deformação instantânea, quando da persistência do carregamento ao longo do tempo — ocorre com intensidade considerável, provocando muitas vezes deformações adicionais da mesma ordem de grandeza da deformação verificada no momento de aplicação do carregamento.

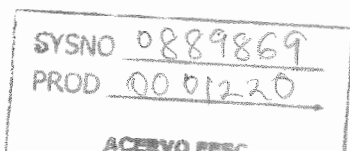
Assim, o seu estudo e definição quantitativa são imprescindíveis neste campo de conhecimentos, sobretudo para a definição dos principais parâmetros de cálculo no estado limite de utilização.

Com a previsão do histórico de carregamento da estrutura e a definição clara do fenômeno, traduzida em termos de parâmetros distintos para cada estágio característico de comportamento, é possível ao calculista a realização de projetos mais seguros e otimizados com consequente economia.

¹ Prof. Titular - LaMEM-EESC/USP - São Carlos - SP

² Prof. Assist. Doutor - Dep. Eng. Rural- Faculdade de Ciências Agrônômicas/UNESP-Botucatu - SP

³ Aluno do Curso de Matemática - ICMSC/USP - São Carlos - SP



Este trabalho tem como objetivo a análise experimental da fluência em peças fletidas de madeiras de reflorestamento. Pela sua oportunidade, servirá de suporte científico ao projeto de revisão da NBR 7190 - Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A fluência dos materiais estruturais sempre foi motivo de grande preocupação, e, por essa razão principal, os estudos do assunto são numerosos. Particularmente para a madeira, destacam-se, ao nível internacional, os estudos desenvolvidos pelos americanos.

Segundo MATEUS (1961), datam de 1908, as primeiras indicações para que, nos ensaios normalizados, fossem adotadas velocidades de carregamento bem definidas. Somente mais tarde, a partir de 1920, a indústria aeronáutica e órgãos americanos como o USDA - United States Department of Agriculture, através de WOOD (1947, 1951) e MARKWARDT e LISKA (1948, 1956), dentre outros, iniciam estudos sistemáticos do fenômeno.

No Brasil, cabe destaque aos trabalhos pioneiros desenvolvidos por MATHIESEN (1977), WATANABE (1982, 1983), e, posteriormente, CÉLIA-SILVA (1989), que, com base em seus experimentos, realizados com elementos estruturais em escala natural e corpos-de-prova de dimensões reduzidas, sugeriu uma metodologia para análise

Embora o fenômeno seja de equacionamento teórico bastante complexo, pode-se assumir, simplificadamente, que o comportamento da madeira quando submetida a carregamentos de longa duração, se dá como expresso na fig. 1, que avalia a deformação específica na face tracionada de um espécime de madeira submetido à flexão

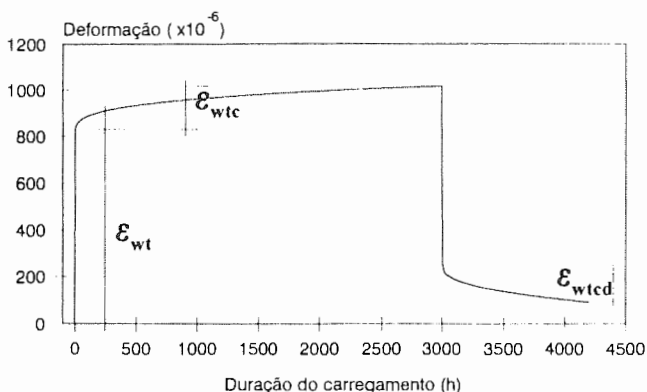


Fig. 1 - Diagrama de deformações ao longo do tempo para um espécime de madeira.

Quando da aplicação do carregamento, o material apresenta uma deformação inicial (ϵ_{wt}). Com o passar do tempo, havendo manutenção do carregamento, essa deformação inicial tem

aumento gradativo, com tendência a uma estabilização posterior, depois de decorrido grande intervalo de tempo. O incremento de deformação ao longo do tempo (ϵ_{wte}) caracteriza a fluência da madeira, que é dependente sobretudo da duração do carregamento, da umidade ambiente, do nível de tensão a que está submetido o material, e do tipo de madeira.

Após a retirada do carregamento, há uma recuperação instantânea de toda a deformação elástica sofrida pelo material. Ao longo do tempo, o material esboçará, ainda, tendência de recuperação paulatina de mais uma parcela da deformação total — segundo o FPL (1987) $\epsilon_{wrec} \approx 50\% \epsilon_{wte}$), restando, contudo, na maioria dos casos, uma parcela de deformação (plástica) irreversível.

Quando da análise do fenômeno através de ensaios de flexão - procedimento mais usual na maioria das pesquisas do assunto - a fluência é acompanhada pela avaliação das deflexões (flechas). O comportamento geral é análogo ao esboçado na fig. 1.

Diversas são as equações propostas para interpretação matemática do fenômeno. De uma compilação dos principais resultados de MATHIESEN (1977), com corpos de prova de Peroba-Rosa, e de WATANABE (1982, 1983), ensaiando Peroba-Rosa, Eucalipto e Pinho do Paraná, nota-se que as curvas que melhor se adequam, tanto para os trechos de carregamento como de descarregamento, são a parabólica e a série logarítmica, esta última proposta por Kollmann. Assim, para a análise do aumento de flechas com o tempo, ter-se-ia:

$$C = C_0 + At^m \quad , \text{ ou} \quad (1)$$

$$\frac{C}{C_0} = A + B \log t + G(\log t)^2 \quad , \text{ sendo:} \quad (2)$$

C - flecha após um tempo "t",
 C_0 - flecha instantânea;
 t - tempo;
 A, m, G - constantes de correlação.

Relativamente à duração do carregamento, WATANABE (1982, 1983), ensaiando corpos de prova de $(2 \times 3 \times 60) \text{ cm}^3$, executados com Peroba Rosa, Eucalipto Citriodora e Pinho do Paraná, com carga concentrada aplicada no meio do vão de 58 cm, observou estabilização do fenômeno após o terceiro mês (90 dias) de carregamento.

CÉLIA-SILVA (1989), ensaiando corpos de prova de Jatobá com as mesmas dimensões descritas acima, também observou estabilização do fenômeno da fluência, após 60 a 90 dias de carregamento.

O FPL (1987) - Forest Products Laboratory, conforme ilustrado na fig. 2, sugere aumento na deflexão (flecha) até cerca de 400 dias de carregamento

A NBR 7190 (1982) não especifica nenhum tipo de classificação para os carregamentos quanto à duração. Prescreve, simplificadamente, a redução em 1/3 do valor do módulo de elasticidade tangente da madeira, para cômputo das deformações devidas a "carregamentos permanentes".

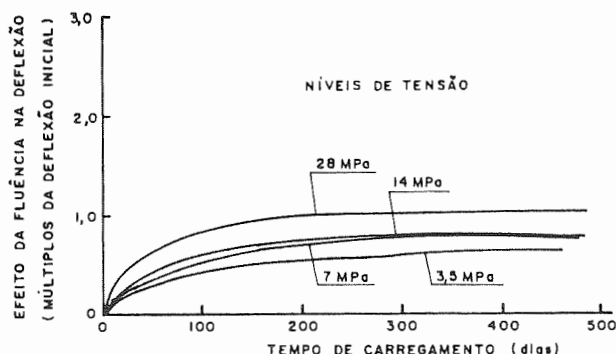


Fig. 2 - Ilustração do fenômeno de fluência - influência do nível de tensões a que esta submetida a madeira. Fonte: FPL (1987)

A CEC (1991) - Commission of the European Communities, através do EUROCODE nº 5, aqui referenciado simplificadamente como EUROCODE 5 (1991), prescreve a classificação de carregamentos da tab. 1.

Tab. 1 - Classes de duração do carregamento (EUROCODE, 1991)

Classe de duração	Exemplos	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	peso próprio	mais de 10 anos
Longa duração	carregamentos impostos	de 6 meses a 10 anos
Média duração	neve ^(*)	de 1 semana a 6 meses
Curta duração	neve ^(*) e vento	menos de 1 semana
Duração instantânea	carregamentos acidentais	

(*) - dependente da região

Com respeito à interferência da umidade do ambiente na fluência, as recomendações normativas internacionais sugerem que aumentos na umidade ambiente sejam traduzidos em maior incidência da fluência. Segundo o FPL (1987), madeiras verdes apresentam deformações devidas à fluência da ordem de quatro a seis vezes a deformação inicial, à medida em que secam.

O EUROCODE 5 (1991) para efeitos de projeto de estruturas de madeira, sugere a consideração das classes de umidade da tab 2.

Prescreve também a adoção de um coeficiente de modificação (k_{mod}), redutor dos parâmetros de resistência e deformabilidade da madeira, para as diversas condições de duração de carregamento e umidade ambiente.

Tab. 2 - Classes de umidade (EUROCODE, 1991)

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

Conforme considerado no projeto de revisão da NBR 7190 (1982), esse coeficiente de modificação pode ser desdobrado em duas parcelas, uma relativa à influência da duração do carregamento ($k_{1,mod}$) e outra relativa à influência da umidade ($k_{2,mod}$). Os valores para madeira serrada são os apresentados nas tabs. 3 e 4.

Tab. 3 - Coeficiente de modificação - efeito da duração do carregamento

Classe de duração	$k_{1,mod}$
Permanente	0,60
Longa duração	0,70
Média duração	0,80
Curta duração	0,90
Duração instantânea	1,00

Tab. 4 - Coeficiente de modificação - efeito da umidade

Classes de umidade	$k_{2,mod}$
1 e 2	1,00
3 e 4	0,80

Relativamente à interferência do nível de tensão a que está submetida a madeira na fluência, nota-se, ainda com uso da fig. 2, que as curvas representativas são distintas para cada nível de tensões e o fenômeno revela-se mais acentuado, à medida em que o nível de tensões na madeira é aumentado. Segundo o FPL (1987), para os níveis de tensão usualmente admitidos em projeto, o acréscimo de flecha devido à fluência, após alguns anos, é aproximadamente igual à flecha inicial, instantânea.

KING apud CÉLIA-SILVA (1989) observou deformações residuais em peças fletidas, mas somente nas carregadas com níveis de tensão acima de 42% da tensão última de flexão.

Para outros pesquisadores, deformações residuais foram observadas para níveis de tensão de até 20% da tensão última de flexão.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do material

A fluência foi avaliada com a execução de corpos de prova de Eucalipto Citriodora e Pinus Elliotti.

Em todos os ensaios realizados a dimensão nominal dos corpos de prova foi 2cm x 2cm x 60 cm.

Os ensaios preliminares, para determinação do módulo de elasticidade tangente à origem na flexão, foram realizados com todos os exemplares de cada madeira. As flechas foram avaliadas com uso de defletômetros mecânicos, com sensibilidade de 1/100 mm.

Nos ensaios de fluência, o carregamento foi aplicado somente em 4 exemplares de cada espécie. O primeiro exemplar de cada série (sem carregamento), atuava como compensador, para captar e anular os efeitos das variações de temperatura e umidade. Para a avaliação da flecha foram utilizados transdutores indutivos HP-24 DCDT-500. A avaliação da deformação na face tracionada dos exemplares foi feita com extensômetros elétricos de resistência do tipo KL10-A4.

Nos ensaios principais, a avaliação permanente dos dados foi feita com uso de um sistema de aquisição de dados Data Acquisition Control Unit HP 3497A e microcomputador HP 9825T.

3.2 Metodologia de ensaio

Os ensaios foram desenvolvidos no LaMEM - Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira da EESC/USP.

Os ensaios preliminares (determinação do módulo de elasticidade na flexão) seguiram metodologia proposta em LaMEM (1987).

O procedimento geral do ensaio de fluência seguiu basicamente o estabelecido em CÉLIA-SILVA (1989). Os exemplares de madeira foram ensaiados à flexão, com uma carga concentrada no meio do vão livre de 58 cm, fazendo-se uso de um pórtico especial (fig. 3), que permitiu a realização simultânea de todos os testes.

Nestes ensaios foram feitas avaliações permanentes de:

- deformação na face tracionada, no meio do vão
- flecha no meio do vão
- temperatura ambiente
- umidade relativa do ar

Durante a fase de carregamento, no primeiro dia de ensaio, as leituras foram realizadas em intervalos de meia hora. Do segundo ao décimo dia de ensaio, fizeram-se leituras de uma em uma hora. A partir do décimo primeiro dia, as leituras foram feitas uma vez por dia. Na fase de descarregamento, a frequência de leituras foi aproximadamente a mesma.

O ensaio teve duração total de 4148 horas (cerca de 173 dias). A fase de carregamento compreendeu um total de 2972 horas (124 dias), e a fase de descarregamento sob observação totalizou 1176 horas (49 dias).

Os exemplares de *Eucalypto Citriodora* foram carregados monotonicamente com uma carga de 0,15 kN. Para os exemplares de *Pinus Elliotti*, a carga aplicada no meio do vão foi de 0,04 kN. Nas duas situações procurou-se atingir a flecha admissível de 1/350, segundo prescrição da NBR 7190 (1982).

No cômputo final das flechas e deformações sofridas pelos exemplares carregados, foram descontadas as leituras obtidas nos compensadores.

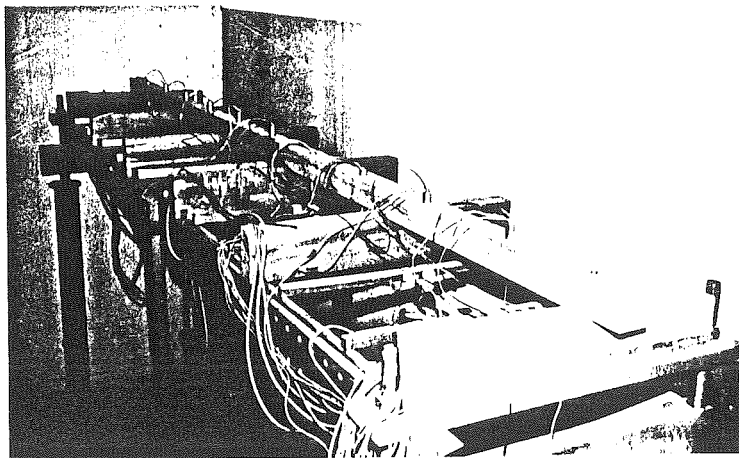


Fig. 3 - Aparato geral do ensaio de flexão para avaliação da fluência nos exemplares de Eucalipto Citriodora e Pinus Ellioti.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figs. 4 a 7 mostram a avaliação das deformações e deslocamentos, ao longo do tempo, nos ensaios de fluência.

A tab. 5 apresenta, para cada um dos exemplares, o módulo de elasticidade inicial (E_0), o módulo de elasticidade inferido no final da etapa de carregamento (E_2), a flecha inicial (a_0), a flecha final (a_f), e outras flechas, em fases características do ensaio de fluência.

Tab. 5 - Valores característicos do módulo de elasticidade e flechas no ensaio de fluência

Madeira	Exemplar	E_0 (MPa)	E_2 (MPa)	a_0 (mm)	a_1 (mm)	a_2 (mm)	a_3 (mm)	a_4 (mm)	E_2/E_0	a_0/a_1	a_0/a_2
Eucalipto	01 ⁽¹⁾										
	02	40604	35209	1,24	1,39	1,43	0,26	0,21	0,86	0,89	0,87
	03	34946	31106	1,62	1,74	1,82	0,24	-0,22	0,89	0,93	0,89
	04	26596	25911	1,89	2,06	1,94	0,12	-0,58	0,97	0,91	0,97
	05	29446	27965	1,70	1,79	1,79	0,12	-0,59	0,95	0,95	0,95
Pinus	06 ⁽²⁾										
	07	5471	4034	2,19	2,37	2,97	0,8	0,17	0,74	0,92	0,74
	08	4543	3400	2,44	2,65	3,26	0,84	0,07	0,75	0,92	0,75
	09	5440	3902	2,08	2,21	2,90	0,86	0,52	0,72	0,94	0,72
	10	4909	2990	2,29	2,46	3,76	1,50	1,35	0,61	0,93	0,61

(1) - compensador da série de madeira de eucalipto

(2) - compensador da série de madeira de pinus

a_1 - flecha ao final da primeira semana de carregamento

a_2 - flecha no final da etapa de carregamento (aprox. quatro meses)

a_3 - flecha no início da etapa de descarregamento

a_4 - flecha ao final do ensaio (aprox. seis meses)

Os valores obtidos da relação E_2/E_0 mostram, para o Eucalipto Citriodora, reduções da ordem de 10% e, para o Pinus, reduções de 30%. Comparando-se estes valores com a sugestão da NBR 7190(1982), verifica-se que a proposição normativa é segura para o Eucalipto e se adequa perfeitamente à espécie Pinus.

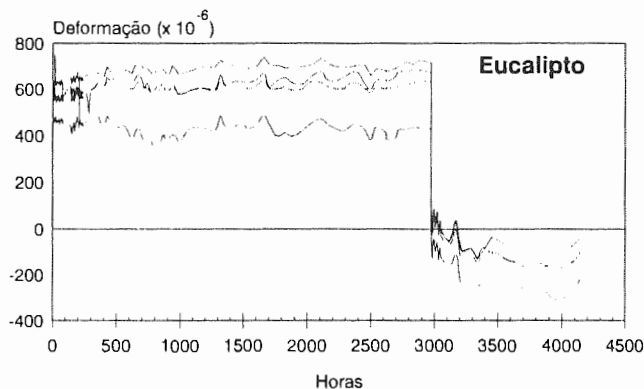


Fig. 4 - Diagrama de deformações ao longo do tempo para o Eucalipto

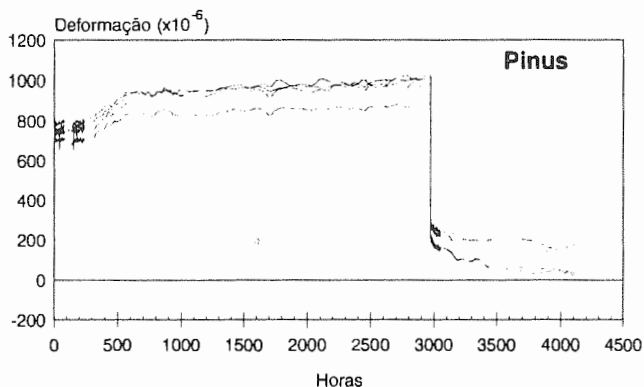


Fig. 5 - Diagrama de deformações ao longo do tempo para o Pinus

Considerando-se a etapa de ensaio característica dos carregamentos de curta duração (proj. rev. NBR 7190 - tabs. 3 e 4), tendo-se em conta ainda que o ensaio transcorreu dentro da classe 3 de umidade, nota-se que, para as duas espécies de madeira, a relação entre flechas ficou em torno de 90%. O coeficiente de modificação proposto pelo projeto de revisão da

NBR 7190 é 0,72 ($k_{mod,1} \times k_{mod,2} = 0,9 \times 0,8 = 0,72$), ressaltando novamente, a segurança da proposição normativa.

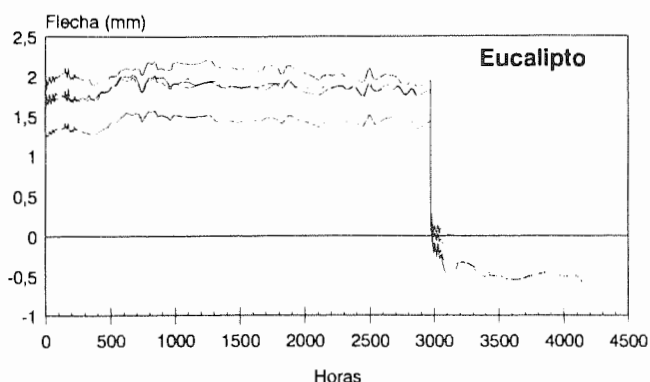


Fig. 6 - Diagrama de flechas ao longo do tempo para o Eucalipto

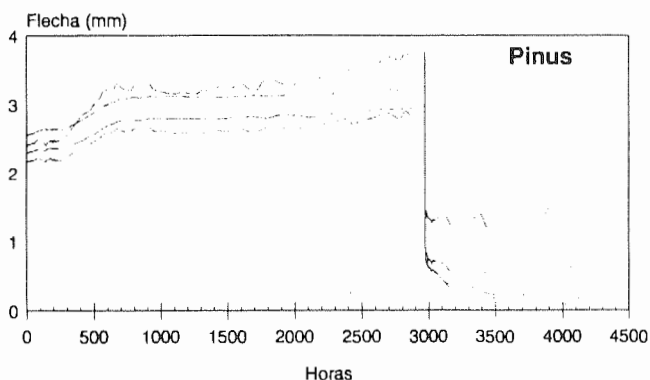


Fig. 7 - Diagrama de flechas ao longo do tempo para o Pinus.

A mesma análise, encaminhada para os carregamentos de média duração (até seis meses) evidencia, para o Eucalipto, relações da ordem dos mesmos 90%, mostrando variação desprezível da flecha, relativamente à análise inicial do período de uma semana.

O mesmo não acontece para o Pinus. Conforme se observa nas figs. 5 e 7, mesmo para os baixos níveis de carregamento destes ensaios, o Pinus revela uma tendência visível de aumento de deformações, traduzida na relação a_0/a_2 , que ficou em torno de 70%.

Para essa situação — cargas de média duração — o projeto de revisão da NBR 7190 sugere um coeficiente de modificação final igual a 0,64.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verifica-se, pela análise geral dos resultados, que o coeficiente prescrito pela atual norma brasileira é seguro para madeiras de alta densidade, como o Eucalipto. Para as madeiras de baixa densidade, como o Pinus, verificou-se que este coeficiente é inadequado, considerando-se que sequer foi atingida a classe de longa duração para o carregamento e que trata-se de análise de corpos de prova de dimensão não estrutural.

Observou-se no desenvolvimento dos ensaios que os carregamentos impostos, calculados com base na limitação da flecha em $l/350$, conferiram baixos níveis de solicitação aos corpos de prova. Recomenda-se, portanto, para a realização de ensaios futuros, a adoção de níveis de solicitação que se traduzam em flechas da ordem de $l/100$.

Recomenda-se também, a realização dos ensaios com manutenção do carregamento por pelo menos seis meses, compreendendo assim as três classes de duração de cargas previstas no projeto de revisão da norma (curta, média e longa duração).

ABSTRACT: *The study of creep on wood is importante for the definition of design parameters for the serviceability state analysis. The prevision of load history allows designers to enhance their projects leading to more economy. This study reports an experimental analysis of creep on bending timber elements, as a technical support for the revision process of the NBR 7190 - Design and construction of timber structures. SILVA(1989) methodology was utilized on the experimental tests which have been conducted with four specimens of E. citriodora and four specimens of Pinus Elliotti. The tests assumed instantaneous, short-term (up to one week) and medium-term (up to six months) load duration classes, observing deflection and stress increments. Results have shown that actual code prescribe, for permanent loads, a reduction on elasticity modulus lower than the observed on experimental program for softwood.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cálculo e execução de estruturas de madeira (NBR 7190). Rio de Janeiro, ABNT, 1982, 22 p.

CÉLIA-SILVA, A.H. Contribuição ao estudo da fluência em vigas fletidas de madeira. São Carlos, 1989. 107p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES (CEC) Eurocode nº 5 - Design of timber structures- general rules and rules for buildings. London, 1991 (Working draft).

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook: wood as an engineering material. Agric. Handb. 72. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture; rev. 1987. 466 p.

LABORATÓRIO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA. Madeira - determinação de suas características. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987. 44 p.

MARKWARDT, L.J. & LISKA, J.A. Speed of testing of wood - factores in its control and its effects on strength. Proceedings of ASTM, 1948.

MARKWARDT, L.J. & LISKA, J.A. The influence of rate of loading on the strength of wood and wood-base materials. Proceedings of ASTM, 1956.

MATEUS, T.J.E. Bases para o dimensionamento de estruturas de madeira. Lisboa, 1961. 312p. Dissertação (Concurso de Investigador - LNEC) - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ministério das Obras Públicas.

MATHIESEN, J.A. Introdução ao estudo da deformação lenta na madeira. Relatório parcial de pesquisa. LaMEM, 1977.

WATANABE, D.H. Deformação lenta em peças estruturais de madeira. São Carlos, LaMEM -EESC/USP, 1982 (Relatórios de Iniciação Científica nº 1).

WATANABE, D.H. Deformação lenta em peças estruturais de madeira. São Carlos, LaMEM -EESC/USP, 1983 (Relatórios de Iniciação Científica nº 2).

WOOD, L.W. Behavior of wood under contined loading. Eng. News Record, 1947.

WOOD, L.W. Relation of strenght of wood to duration of load - USDA, Washington, 1951.

INFLUÊNCIA DA DENSIDADE NA RESISTÊNCIA DA MADEIRA

Autores:

FÁBIO ARMANDO BOTELHO CORDOVIŁ ¹

PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA ²

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a influência da densidade nas características mecânicas da madeira. Os dados analisados foram extraídos do Boletim Nº 31 -Madeiras Nacionais, do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

A apresentação deste estudo decorre da idéia de proporcionalidade entre a densidade aparente da madeira e a sua resistência mecânica. No caso, a densidade aparente é a determinada com o teor de umidade igual a quinze por cento.

Com a finalidade de estabelecer parâmetros para a comparação mencionada, lançou-se mão dos resultados obtidos nos ensaios realizados no IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, de madeiras com o mesmo teor de umidade de 15%.

Foram compilados dados de 384 toras de madeiras brasileiras ensaiadas no IPT e publicados nas diversas edições do Boletim Nº 31 - Madeiras Nacionais - Tabela de resultados de Ensaios Físicos e Mecânicos.

As madeiras foram divididas em "classes de densidade", denominadas D300, D400, D500, D600, D700, D800, D900 e D1000. Cada classe corresponde as madeiras com densidades equivalentes, respectivamente, a 300 kg/m³, 400 kg/m³, 500 kg/m³, etc..

¹ Professor Doutor da Universidade Federal de Santa Catarina

² Professor Doutor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo