

**Caracterização físico-mecânica da madeira de tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason**

Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason,  
physical and mechanical characteristics

Norman Barros Logsdon<sup>1</sup>

Zenesio Finger<sup>1</sup>

Záira Morais dos Santos Hurtado de Mendoza<sup>1</sup>

---

1 Professores Doutores do Departamento de Engenharia Florestal – FENF/  
UFMT. Cuiabá, MT. E-mails: logsdon@terra.com.br;  
fingerz@terra.com.br; zaira@ufmt.br

## RESUMO **ABSTRACT**

O objetivo deste trabalho foi estudar as características da madeira de Tamarindo. Para descrição dendrológica, utilizaram-se os métodos tradicionais da taxonomia. Para caracterização física, utilizou-se o ensaio de estabilidade dimensional. Para caracterização mecânica, utilizou-se a metodologia da atual norma brasileira, não alterada no projeto de revisão dessa norma. A espécie *Martiodendron elatum* Ducke, pertence à família *Fabaceae* e distribui-se naturalmente por toda a Região Amazônica. Sua madeira apresentou: resistência característica à compressão paralela de 71,90 MPa; módulo de elasticidade longitudinal, médio, de 16739 MPa; densidade aparente de 0,9176 g/cm<sup>3</sup> e coeficiente de anisotropia dimensional, no inchamento, de 1,7272. Suas características físicas sugerem madeira de qualidade normal, que apresenta alguns defeitos oriundos da secagem, mas pode ser utilizada na fabricação de móveis que aceitem pequenos empenamentos. Suas características mecânicas indicam elevada resistência mecânica (situa-se na classe de resistência D60) e pode ser utilizada em estruturas de madeira de grande porte.

*The objective of this work was to study the characteristics of the wood of Tamarindo. For dendrological description the traditional taxonomy methods were used. For physical characterization tests of dimensional stability were used. For mechanical characterization the methodology used was that described in current Brazilian Code, unaltered in review project of this Code. The species *Martiodendron elatum* Ducke, belongs to the *Fabaceae* family and it is distributed naturally by the whole Amazon Area. Its wood presented: characteristic strength to the parallel compression of 71.90 MPa; average module of longitudinal elasticity, of 16739 MPa; specific gravity of 0.9170 g/cm<sup>3</sup> and coefficient of dimensional anisotropy, in swelling, of 1.7272. Its physical characteristics suggest wood of normal quality, that presents some defects originating from the dry-out process, but can be used in the production of pieces of furniture that accept small distortions. Its mechanical characteristics indicate high mechanical strength (strength class D60) and application on timber structures of high load.*

## **PALAVRAS-CHAVE** **KEY WORDS**

estabilidade dimensional  
compressão  
tração

*dimensional stability  
Compression  
tension*

## INTRODUÇÃO

A utilização racional da madeira depende do conhecimento de suas características físico-mecânicas, que variam com o teor de umidade da madeira. O projeto de revisão da norma brasileira, NBR 7190, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2010), a exemplo da NBR 7190 da ABNT (1997), adota o teor de umidade de referência de 12%. Desse modo, todo resultado de ensaio deve ser reportado a esse teor de umidade. O antigo método brasileiro MB-26, da ABNT (1940), reeditado como NBR 6230, pela ABNT (1980), utilizava a madeira verde. Assim, os resultados de ensaios do passado não são compatíveis com a atual norma e precisam ser recuperados.

Este trabalho vem ao encontro dessa necessidade e tem por objetivo fazer a caracterização físico-mecânica da madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, além de preparar sua descrição dendrológica.

As principais características físicas da madeira podem ser obtidas a partir de ensaios de estabilidade dimensional. As dimensões da madeira se alteram substancialmente com a variação da umidade, no intervalo de 0% até o limite de saturação das fibras. Nesse intervalo, conhecido como intervalo higroscópico, ao aumentar o teor de umidade, as dimensões da madeira aumentam (inchamento) e, ao diminuir o teor de umidade, as dimensões diminuem (retração).

Segundo Kollmann e Côté Jr. (1984), o comportamento da madeira ao inchamento volumétrico é o apresentado nas Expressões (1) e (2), que representam duas retas, uma de coeficiente angular positivo, para baixos teores de umidade, e outra de coeficiente angular nulo (constante) para elevados teores de umidade. O mesmo comportamento é verificado para as deformações específicas no umedecimento (inchamentos lineares) da madeira,

$$\Delta V_{i,U} = \delta_{v_i} \cdot U, \text{ para } 0\% \leq U < U_{PI} \quad (1)$$

$$\Delta V_{i,U} = \Delta_{i,sat}, \text{ para } U \geq U_{PI} \quad (2)$$

nas quais:  $U$  é o teor de umidade da madeira, em um instante qualquer do ensaio;  $\Delta V_{i,U}$  e  $\Delta V_{i,sat}$  são as variações volumétricas no inchamento, a partir de  $U=0\%$ , até madeira com um teor de umidade qualquer e na

situação saturada em água ( $U \geq U_{pi}$ );  $\delta_{Vi}$  é o coeficiente de inchamento volumétrico, que caracteriza o coeficiente angular da reta inicial do diagrama;  $U_{pi}$  é o teor de umidade no ponto de interseção das duas retas.

Logsdon e Finger (2000) estabeleceram o modelo para o comportamento da madeira à retração volumétrica apresentado nas Expressões (3) e (4), que representam duas curvas exponenciais e um trecho linear, às vezes imperceptível, de coeficiente angular nulo (constante). Para baixos teores de umidade, a curva exponencial é bastante abatida e corresponde à fase de secagem em estufa, o trecho linear corresponde ao final da fase de condicionamento, que se inicia com a outra curva exponencial. Esse comportamento também é verificado para as deformações específicas na secagem (retrações lineares) da madeira.

$$\text{Para } 0\% \leq U < U_{\text{cond.}} : \Delta V_{r,U} = \Delta V_{r,\text{cond.}} \cdot \left( \frac{U}{U_{\text{cond.}}} \right)^{\beta_{0,v}} \quad (3)$$

Para  $U_{\text{cond.}} \leq U \leq U_{\text{sat.}}$ , o máximo valor entre as seguintes expressões:

$$\Delta V_{r,U} = \Delta V_{r,\text{cond.}} \text{ e } \Delta V_{r,U} = \Delta V_{r,\text{sat.}} \cdot \left( \frac{U}{U_{\text{sat.}}} \right)^{\beta_{1,v}} \quad (4)$$

nas quais:  $U$  é o teor de umidade da madeira, em um instante qualquer do ensaio, em particular,  $U_{\text{sat}}$  e  $U_{\text{cond}}$  correspondem, respectivamente, aos teores de umidade do corpo-de-prova saturado em água e condicionado em clima padronizado (temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $65\% \pm 5\%$ );  $\Delta V_{r,U}$  é a variação volumétrica na retração, em um instante qualquer do ensaio, em particular,  $\Delta V_{r,\text{sat}}$  e  $\Delta V_{r,\text{cond}}$  correspondem, às variações volumétricas do corpo-de-prova saturado e condicionado, até seco ( $U=0\%$ );  $\beta_{0,v}$  e  $\beta_{1,v}$  são os expoentes das curvas.

Kollmann e Côté Jr. (1984) apresentaram um estudo sobre a variação da densidade aparente ( $\rho_u$ ) com o teor de umidade ( $U$ ) durante o umedecimento da madeira, obtendo o modelo das Expressões (5), função da densidade aparente da madeira seca ( $\rho_0$ ) e de características do inchamento volumétrico.

$$\text{Para } 0\% \leq U < U_{PI}, \rho_u = \rho_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{U}{100}\right)}{\left(1 + \frac{\delta_{Vi} \cdot U}{100}\right)}$$

$$\text{Para } U \geq U_{PI}, \rho_u = \rho_0 \cdot \frac{\left(1 + \frac{U}{100}\right)}{\left(1 + \frac{\Delta V_{i,sat.}}{100}\right)} \quad (5)$$

Logsdon (2004), de forma análoga a Kollmann e Côté Jr. (1984), estudou a variação da densidade aparente com o teor de umidade durante a secagem da madeira, obtendo o modelo das Expressões (6) e (7), função de características da retração volumétrica.

$$\text{Para } 0\% \leq U \leq U_{cond}, \rho_u = \rho_0 \cdot \left(1 + \frac{U}{100}\right) \cdot \left[1 - \frac{\Delta V_{r,cond.}}{100} \cdot \left(\frac{U}{U_{cond.}}\right)^{\beta_{0,v}}\right] \quad (6)$$

Para  $U_{cond} \leq U \leq U_{sat.}$  o valor mínimo obtido entre as expressões:

$$\rho_u = \rho_0 \cdot \left(1 + \frac{U}{100}\right) \cdot \left(1 - \frac{\Delta V_{r,cond.}}{100}\right) \quad \text{e}$$

$$\rho_u = \rho_0 \cdot \left(1 + \frac{U}{100}\right) \cdot \left[1 - \frac{\Delta V_{r,sat.}}{100} \cdot \left(\frac{U}{U_{sat.}}\right)^{\beta_{1,v}}\right] \quad (7)$$

O coeficiente de anisotropia, segundo Nock et al. (1975), é usado na indicação da qualidade da madeira quanto aos defeitos oriundos da secagem. Logsdon e Penna (2005) ampliaram os estudos de Nock et al. (1975) e apresentaram a Tabela 1.

**Tabela 1** – Coeficiente de anisotropia dimensional, qualidade e uso da madeira

Coeficiente de anisotropia em:		Qualidade da madeira	Utilização indicada para a madeira
Retração, $A_r$	Inchamento, $A_i$		
Até 1,50	Até 1,54	Excelente	Móveis finos, esquadrias, barcos, aparelhos musicais, aparelhos de esporte etc.
1,50 a 2,00	1,54 a 2,10	Normal	Estantes, mesas, armários, enfim usos que permitam pequenos empenamentos.
Acima de 2,00	Acima de 2,10	Ruim	Construção civil (observadas as características mecânicas), carvão, lenha etc.

Nas Equações (8) são apresentadas as definições dos coeficientes de anisotropia na retração e no inchamento,

$$A_r = \frac{\varepsilon_{r,3,sat}}{\varepsilon_{r,2,sat}} \quad \text{e} \quad A_i = \frac{\varepsilon_{i,3,sat}}{\varepsilon_{i,2,sat}} \quad (8)$$

em que:  $A_r$  e  $A_i$  são os coeficientes de anisotropia dimensional, respectivamente, na retração e no inchamento;  $\varepsilon_{r,2,sat}$  e  $\varepsilon_{r,3,sat}$  são as deformações específicas do corpo-de-prova, devido à retração, para uma variação no teor de umidade desde a situação saturado em água ( $U=U_{sat}$ ) até completamente seco ( $U=0\%$ ), respectivamente nas direções radial (2) e tangencial (3);  $\varepsilon_{i,2,sat}$  e  $\varepsilon_{i,3,sat}$  são as deformações específicas do corpo-de-prova, devido ao inchamento, para uma variação no teor de umidade desde a situação completamente seco ( $U=0\%$ ) até saturado em água ( $U=U_{sat}$ ), respectivamente na radial (2) e tangencial (3).

O projeto de revisão da NBR 7190 da ABNT (2010), a exemplo da NBR7190 da ABNT (1997), adota o teor de umidade de referência de 12%. Assim, todos os resultados de ensaio devem ser reportados a essa umidade; para isso, essas normas apresentam formulário para a correção da resistência e rigidez da madeira, transcritos nas Equações (9), mas não para sua densidade aparente. Logsdon (1998), estudando o assunto, apresenta formulário para correção da densidade aparente, apresentado nas Expressões (10),

$$f_{12} = f_{U\%} \cdot \left[ 1 + \frac{3 \cdot (U\% - 12)}{100} \right] \text{ e } E_{12} = E_{U\%} \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot (U\% - 12)}{100} \right] \quad (9)$$

$$\rho_{12} = \rho_{U\%} + \rho_{U\%} \cdot \left[ (1 - \delta_V) \cdot \frac{(12 - U\%)}{100} \right],$$

$$\text{com } \delta_V = \frac{\Delta V}{U\%} \text{ e } \Delta V = \frac{V_{U\%} - V_{\text{seca}}}{V_{\text{seca}}} \cdot 100\% \quad (10)$$

nas quais:  $f_{12}$  e  $f_{U\%}$  são as resistências à determinada solitação, respectivamente, aos teores de umidade de 12% e U%;  $E_{12}$  e  $E_{U\%}$  são os módulos de elasticidade longitudinal, respectivamente, aos teores de umidade de 12% e U%;  $\rho_{12}$  e  $\rho_{U\%}$  são as densidades aparente, respectivamente, aos teores de umidade de 12% e U%;  $\delta_V$  é o coeficiente de retratibilidade volumétrica;  $\Delta V$  é a retração volumétrica, para a variação de umidade entre U% e 0%;  $V_{U\%}$  e  $V_{\text{seca}}$  são os volumes do corpo-de-prova, respectivamente, ao teor de umidade U% e da madeira seca U=0%.

Segundo o projeto de revisão da NBR 7190 da ABNT (2010), a exemplo da NBR7190 da ABNT (1997), para a caracterização das propriedades de resistência podem ser utilizados os três seguintes procedimentos: caracterização completa da resistência da madeira serrada; caracterização mínima da resistência da madeira serrada; e caracterização simplificada da resistência da madeira serrada. E, para a caracterização das propriedades de rigidez, podem ser utilizados os dois seguintes procedimentos: caracterização completa da rigidez da madeira e caracterização simplificada da rigidez da madeira.

## MATERIAL E MÉTODOS

O material foi coletado de três árvores de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, no município de Cotriguaçu, MT. De cada árvore, foi coletado material dendrológico para identificação e descrição da espécie, e uma amostra do fuste, na região do DAP, de aproximadamente 90 cm de comprimento, da qual foram retiradas, a partir de uma prancha diametral, quatro barras de seção 6 cm x 6 cm com as direções principais bem definidas. De cada barra, foi retirado um corpo-de-prova para cada ensaio previsto. Para cada tipo de ensaio,

foram retirados 12 corpos-de-prova, correspondendo à amostragem mínima prevista na NBR 7190, da ABNT (1997), que não foi alterada em seu projeto de revisão.

Para descrição dendrológica da espécie, foram coletadas informações sobre as particularidades do caule, da copa, das folhas, da casca e da madeira. A identificação da espécie foi realizada através dos padrões clássicos utilizados pela taxonomia, com base em caracteres morfológicos florais e vegetativos, e pela comparação de exsiccatas coletadas com material catalogado no Herbário Central da Universidade Federal de Mato Grosso, e pela consulta a outras instituições e especialistas. A nomenclatura da espécie foi citada de acordo com o *Index Kewensis*.

A caracterização física foi baseada na metodologia proposta por Logsdon (2002) para revisão da NBR 7190/97, que inclui os ensaios de inchamento e retração. De cada árvore, foi separado um corpo-de-prova como amostra de controle. Os corpos-de-prova tinham as dimensões de 2 cm x 3 cm x 5 cm, respectivamente nas direções tangencial, radial e axial.

O ensaio de estabilidade dimensional, proposto por Logsdon (2002), tem quatro fases: secagem prévia; encharcamento; condicionamento; e secagem em estufa.

O condicionamento dos corpos-de-prova na fase de secagem prévia foi feito em sala de climatização, mantida a  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  de temperatura e  $(65 \pm 5)\%$  de umidade relativa do ar. Essas condições controladas promovem o condicionamento dos corpos-de-prova com um teor de umidade próximo de 12% ( $U = U_{\text{início}} \cong 12\%$ ), propício ao início do ensaio de inchamento.

O controle da temperatura e umidade relativa do ar na sala de climatização foi obtido com auxílio de um ar condicionado provido de termostato, por um conjunto composto por um reservatório com água, por um desumidificador e por um umidostato. Um termo-higrógrafo registrava a temperatura e a umidade relativa do ar, ao longo do tempo, possibilitando o controle manual, quando necessário.

Os corpos-de-prova foram considerados condicionados quando a variação da massa dos corpos-de-prova, da amostra de controle, começou a oscilar em torno de zero, terminando assim a fase inicial do ensaio. A duração da fase de secagem prévia depende da umidade inicial dos corpos-de-prova. Nos ensaios para este trabalho, durou aproximadamente quinze dias.

A fase de encharcamento foi feita em sala de climatização, com temperatura mantida a  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Os corpos-de-prova foram saturados em água destilada ( $U=U_{\text{sat}}$ ). Essa fase durou aproximadamente 40 dias. Imerso em água, após a estabilização da massa, não se pôde constatar saída de água do corpo-de-prova para o ambiente, não ocorrendo oscilação da variação da massa em torno de zero. As raras ocorrências nesse sentido podem ser atribuídas a deficiências na condução do ensaio.

No primeiro dia da fase de encharcamento, foram realizadas leituras de massa e dimensões, nos corpos-de-prova da amostra de controle, em intervalos de 20 minutos entre uma leitura e outra, devido à rápida variação da massa e das dimensões. Na sequência, as avaliações da massa e das dimensões dos corpos-de-prova foram realizadas diariamente. Ao se observar variação de massa não superior a 0,5%, entre duas leituras sucessivas, realizadas em um intervalo mínimo de seis horas, deu-se por encerrada a fase de encharcamento.

A fase de encharcamento e o instante do ensaio correspondente ao corpo-de-prova completamente seco compõem o ensaio de inchamento.

A fase de condicionamento em sala de climatização mantida a  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  de temperatura e  $(65 \pm 5) \%$  de umidade relativa do ar, condicionou novamente os corpos-de-prova em um teor de umidade próximo de 12% ( $U=U_{\text{cond}} \cong 12\%$ ). Essa fase durou aproximadamente quinze dias.

No primeiro dia da fase de condicionamento, também foram realizadas leituras de massa e dimensões em intervalos de 20 minutos entre uma leitura e outra dos corpos-de-prova da amostra de controle, devido à rápida variação de massa e de dimensões no início da fase. Após o primeiro dia, as avaliações da massa e das dimensões dos corpos-de-prova foram diárias. Ao se observar variação de massa inferior a 0,5%, entre duas leituras sucessivas, os corpos-de-prova foram admitidos como condicionados.

Na fase de secagem em estufa, regulada com temperatura de  $(103 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , os corpos-de-prova, previamente condicionados, foram completamente secos ( $U=0\%$ ). Esta fase teve duração aproximada de dois dias.

No primeiro dia, da fase de secagem em estufa, as leituras de massa e dimensões também foram feitas em intervalos de 20 minutos entre uma leitura e outra nos corpos-de-prova da amostra de controle, devido à rápida variação de massa e de dimensões no início da fase. No

segundo dia, as avaliações da massa e das dimensões dos corpos-de-prova foram realizadas no início e no fim da jornada de trabalho, em um intervalo de aproximadamente dez horas. Ao ser observada variação de massa inferior a 0,5%, entre as duas últimas leituras, os corpos-de-prova eram considerados condicionados. Caso contrário, era realizada nova leitura no início da jornada de trabalho do terceiro dia, para verificação da variação de massa entre as duas últimas leituras.

As fases de condicionamento e de secagem em estufa compõem o ensaio de retração.

Para avaliar a massa do corpo-de-prova, utilizou-se uma balança analítica, com capacidade de 1,0 kg e sensibilidade de 0,01 g. A dimensão em cada direção principal foi a média aritmética das dimensões das quatro arestas correspondentes, e foram avaliadas com um paquímetro digital, com capacidade de 10 cm e sensibilidade de 0,01 mm.

As amostras de controle foram acompanhadas diariamente, e, ao indicar o término de cada fase ou outros instantes de interesse, realizavam-se as leituras nos demais corpos-de-prova. Eram lidas inicialmente as dimensões, para que o corpo-de-prova perdesse o excesso de água superficial, e, em seguida, a massa do corpo-de-prova.

As avaliações de massa e dimensões, para o conjunto dos corpos-de-prova, foram feitas nos seguintes instantes do ensaio: 1) Após a secagem prévia ( $U=U_{\text{início}} \cong 12\%$ , início do ensaio de inchamento); 2) No fim da fase de encharcamento ( $U=U_{\text{sat}}$ , fim do ensaio de inchamento e início do ensaio de retração), quando a madeira estava saturada em água; 3) Após um dia na sala de climatização ( $U=U_{1d-SC}$ , ponto intermediário da fase de condicionamento); 4) No fim da fase de condicionamento ( $U=U_{\text{cond}} \cong 12\%$ ), início da fase de secagem em estufa, quando a madeira estava condicionada; 5) Após uma hora secando em estufa ( $U=U_{1h-est}$ , ponto intermediário da fase de secagem em estufa); e 6) No fim da secagem em estufa, quando a madeira estava completamente seca ( $U=0\%$ ).

Caso algum corpo-de-prova apresentasse defeito durante a secagem, era descartado.

Para caracterização mecânica, inicialmente foi feita uma secagem prévia das barras, das quais foram retirados os corpos-de-prova, aos moldes da descrita para o ensaio de estabilidade dimensional, com o intuito de fazer os ensaios mecânicos em corpos-de-prova com teor de umidade entre 0% e 20%. Os métodos utilizados são os apresentados

na NBR 7190, da ABNT (1997), mantidos em seu projeto de revisão da ABNT (2010).

Os ensaios de cisalhamento e tração paralela foram realizados em máquina universal de ensaios, a uma velocidade de carregamento de 2,5 MPa/min e 10 MPa/min, respectivamente. Desses ensaios foram anotados: a força de ruptura; a área do corpo-de-prova, que resistia ao carregamento; e a massa do corpo-de-prova, no fim do ensaio e após completa secagem. Assim, foi possível obter as correspondentes tensões de ruptura e o teor de umidade dos corpos-de-prova, utilizando-se as Expressões (11)

$$f_{v0} = \frac{F_{v0,max}}{A_{v0}}; f_{t0} = \frac{F_{t0,max}}{A} \text{ e } U = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100\% \quad (11)$$

em que:  $f_{v0}$  é a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira, em MPa;  $F_{v0,max}$  é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo-de-prova (carga de ruptura), em N;  $A_{v0}$  é a área da seção crítica do corpo-de-prova, num plano paralelo às fibras, em  $\text{mm}^2$ ;  $F_{t0,max}$  é a máxima força de tração aplicada ao corpo-de-prova (carga de ruptura), em N;  $A$  é a área da seção transversal tracionada do trecho central do corpo-de-prova, em  $\text{mm}^2$ ;  $f_{t0}$  é a resistência à tração paralela às fibras, em MPa;  $U$  é o teor de umidade do corpo-de-prova, no instante do ensaio, em %;  $m_u$  é a massa do corpo-de-prova, no instante do ensaio, em g;  $m_0$  é a massa do corpo-de-prova, após secagem em estufa ( $U=0\%$ ), em g.

Os corpos-de-prova para os ensaios de cisalhamento tinham dimensões 5 cm x 5 cm x 6,4 cm, respectivamente nas direções tangencial, radial e axial. Um pequeno degrau, com 2 cm de largura e 1,4 cm de altura, foi recortado em cada corpo-de-prova de modo a área cisalhante, em um plano radial-axial, ficar com aproximadamente 5 cm x 5 cm (ABNT, 2010). Os corpos-de-prova para os ensaios de tração paralela tinham dimensões 2 cm x 5 cm x 45 cm, respectivamente nas direções tangencial, radial e axial. A seção resistente foi reduzida para 0,7 cm x 5 cm, respectivamente nas direções tangencial e radial, em um trecho de 21 cm no centro do corpo-de-prova (ABNT, 2010).

Os ensaios de compressão paralela também foram realizados em máquina universal de ensaios, a uma velocidade de carregamento de 10

MPa/min. Os corpos-de-prova para os ensaios de compressão tinham dimensões 5 cm x 5 cm x 15 cm, respectivamente nas direções tangencial, radial e axial (ABNT, 2010). Para medir as deformações, foram fixados aos corpos-de-prova dois extensômetros eletrônicos, um de cada lado, com base de leitura de 10 cm, curso de 2 mm, e sensibilidade de 0,5 µm (micrômetro). Os ensaios foram realizados com dois ciclos iniciais de carga e um final. Os ciclos iniciais se limitaram a 50% da estimativa da tensão de ruptura (obtida em ensaio de outro corpo-de-prova). No ciclo final (terceiro), cujo carregamento foi aumentado gradativamente até a ruptura, foram obtidos os resultados. No início e fim de cada ciclo, a carga foi mantida constante durante 30 segundos, como recomenda a NBR 7190, da ABNT (1997), não alterado em seu projeto de revisão da ABNT (2010). Desses ensaios, no início/fim de cada ciclo e a cada 10% da tensão de ruptura estimada, no ciclo final, foram anotadas a carga e a deformação. Também foram anotadas: a força de ruptura; a área da seção transversal do corpo-de-prova; massa do corpo-de-prova, no fim do ensaio e após completa secagem. Assim, utilizando-se as Expressões (12), foram obtidas: a tensão de ruptura, o módulo de elasticidade longitudinal e o teor de umidade dos corpos-de-prova no instante do ensaio.

$$f_{c0} = \frac{F_{c0,max}}{A}; E_{c0} = \frac{\sigma_{50\%} - \sigma_{10\%}}{\varepsilon_{50\%} - \varepsilon_{10\%}} \quad (12)$$

em que:  $F_{c0,max}$  é a máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova (carga de ruptura), em N;  $A$  é a área inicial da seção transversal comprimida, em mm<sup>2</sup>;  $f_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras, em MPa;  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$  são as tensões de compressão correspondentes a 10% e 50% da resistência  $f_{c0}$ , em MPa;  $\varepsilon_{10\%}$  e  $\varepsilon_{50\%}$  são as deformações específicas medidas no corpo-de-prova, correspondentes às tensões de  $\sigma_{10\%}$  e  $\sigma_{50\%}$ .

Os resultados foram reportados ao teor de umidade de referência aplicando-se as Expressões (9) e (10).

Os valores característicos de tensões foram obtidos com o operador definido na NBR 7190, da ABNT (1997), mantidos em seu projeto de revisão da ABNT (2010), ou seja, o máximo valor obtido entre as Expressões (13),

$$x_1; 0,7. x_{wm} \text{ e } x_{wk} = \left( 2 \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - x_{\frac{n}{2}} \right)^{1,1} \quad (13)$$

em que:  $x_i$  é a resistência, obtida no ensaio do corpo-de-prova  $i$ , sendo os valores  $x_i$  ordenados crescentemente, de modo que  $x_1$  é a menor resistência obtida nos ensaios;  $x_{wm}$  é o valor médio das resistências obtidas nos ensaios;  $x_{wk}$  é um operador que subestima o valor característico da resistência;  $n$  é o número de corpos-de-prova ensaiados (tamanho da amostra).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A espécie *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, vulgarmente conhecida por Tamarindo, pertence à família Fabaceae, distribui-se naturalmente por toda a Região Amazônica, nas florestas ombrófilas densas submontanas, nos estados de Mato Grosso, Pará, Acre, Rondônia, Amazonas e Amapá, particularmente abundante nos estados de Mato Grosso e Pará, sendo sua dispersão irregular e descontínua, ocorrendo geralmente na terra firme sobre solos argilosos ou argilo-silicosos. Pode alcançar altura superior a 35 m e até de 1 m de diâmetro. Nessa espécie, o fuste é alto e muito circular e cilíndrico, a ramificação é cimosa com a copa aberta e capitata umbeliforme. Geralmente apresenta a base do tronco em garras. Suas folhas são compostas, imparipenadas, alternas; os folíolos são alternos, coriáceas, glabros na face ventral e levemente pubescentes e ferrugíneos na face dorsal, atroverdes, lanceolados, com ápice acuminado, base arredondada e bordos inteiros, curto peciolados. Sua casca é lisa, castanho-acinzentada com manchas acinzentadas mais claras. A madeira dessa espécie é moderadamente pesada, com albarno e cerne distintos; o cerne é castanho-avermelhado; apresenta textura média, com grã regular, sem cheiro e o gosto é indistinto. Floresce geralmente de setembro a outubro até novembro e frutifica em agosto. Sua madeira é fácil de trabalhar, sendo utilizada para obras externas, especialmente para deck, devido a sua boa durabilidade natural.

As principais características físicas e mecânicas da madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, são apresentadas nas Tabelas 2 a 6.

Os modelos especificados foram verificados, com os dados obtidos para a amostra de controle, e todos apresentaram regressão com bom coeficiente de determinação ( $0,7572 \leq R^2 \leq 0,9648$ ). Assim, foram construídas as curvas, com os resultados médios de três árvores, apresentadas nas Figuras 1 e 2.

**Tabela 2** – Características físicas da madeira de Tamarindo nos ensaios de inchamentos

Compos- de-prova	Coeficientes de inchamentos, nas direções:			Inchamentos totais, nas direções:			C. de Aniso- tropia		
	Umidade de saturação		Radial	Tangencial		Radial		Volumétrica	
	$U_{sat}$ (%)	$\delta_{1,2}$		$\delta_{1,3}$	$\delta v_1$			$\epsilon_{1,2}$ (%)	$\epsilon_{1,3}$ (%)
A1	61,70	0,1842	0,2931	0,5147	3,8098	6,4791	11,0529	1,7006	
A2	52,21	0,1764	0,3040	0,5149	4,0071	6,5379	11,1627	1,6316	
A3	52,26	0,2059	0,3125	0,5416	3,8178	6,9743	11,3652	1,8268	
A4	50,92	0,1912	0,3109	0,5260	3,6758	6,1850	10,3737	1,6826	
B1	49,84	0,2034	0,3467	0,5800	4,3873	7,3591	12,4136	1,6774	
B2	40,97	0,2042	0,3272	0,5602	3,9655	6,9538	11,6158	1,7536	
B3	40,20	0,1702	0,2371	0,4697	3,3985	5,1776	9,8860	1,5235	
B4	35,78	0,1729	0,2863	0,4937	3,6036	6,3923	10,8175	1,7739	
C1	49,11	0,1506	0,2772	0,4692	3,3214	6,4389	10,4982	1,9386	
C2	43,22	0,1488	0,2548	0,4383	3,2209	5,8367	9,6588	1,8121	
C3	42,02	0,1643	0,2678	0,4684	3,3133	5,8037	9,7871	1,7516	
C4	39,66	0,1657	0,2681	0,4650	3,3637	5,5657	9,4725	1,6546	
Número	12	12	12	12	12	12	12	12	
<b>Média</b>	<b>46,49</b>	<b>0,1782</b>	<b>0,2905</b>	<b>0,5035</b>	<b>3,6571</b>	<b>6,3087</b>	<b>10,6753</b>	<b>1,7272</b>	
D. Pad.	7,3673	0,0199	0,0315	0,0433	0,3538	0,6319	0,8943	0,1072	
Intervalo de Confiança da Média									
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	
<b>L. Inf.</b>	<b>41,81</b>	<b>0,1655</b>	<b>0,2704</b>	<b>0,4759</b>	<b>3,4322</b>	<b>5,9072</b>	<b>10,1071</b>	<b>1,6591</b>	
<b>L. Sup.</b>	<b>51,17</b>	<b>0,1908</b>	<b>0,3105</b>	<b>0,5310</b>	<b>3,8819</b>	<b>6,7102</b>	<b>11,2435</b>	<b>1,7953</b>	

**Tabela 3** – Características físicas de Tamarindo na fase de condicionamento dos ensaios de retrações

Corpos-de-prova	Retrações totais (madeira saturada), nas direções:				Expoentes das curvas, no trecho final, dos diagramas de retrações:				C. de Anisotropia $A_r$				
	Radial $\epsilon_{r,2}$ (%)		Tangencial $\epsilon_{r,3}$ (%)		Volumétrica $\Delta V_r$ (%)		Radial $\beta_{1r,2}$			Tangencial $\beta_{1r,3}$		Volumétrica $\beta_{1r,v}$	
A1	3,6700	6,0848	9,9528	0,1525	0,1893	0,1829	1,6580						
A2	3,8527	6,1367	10,0417	0,1671	0,1264	0,1379	1,5928						
A3	3,6774	6,5196	10,2054	0,1034		0,2053	1,7729						
A4	3,5455	5,8248	9,3987	0,1228		0,1300	1,6429						
B1	4,2029	6,8547	11,0428	0,1607		0,1495	1,6309						
B2	3,8142	6,5017	10,4069	0,0891		0,1335	1,7046						
B3	3,2868	4,9227	8,9966	0,1782		0,1938	1,4977						
B4	3,4783	6,0082	9,7615	0,2136		0,1917	1,7274						
C1	3,2147	6,0494	9,5008	0,0404		0,1810	1,8818						
C2	3,1204	5,5148	8,8081	0,0769		1,7673							
C3	3,2071	5,4853	8,9146	0,0928		1,7104							
C4	3,2542	5,2723	8,6529	0,1429		0,1621	1,6201						
Número	12	12	12	12	10	10	12						
<b>Média</b>	<b>3,5270</b>	<b>5,9312</b>	<b>9,6402</b>	<b>0,1284</b>	<b>0,1642</b>	<b>0,1668</b>	<b>1,6839</b>						
D. Padrão	0,3287	0,5596	0,7283	0,0495	0,0397	0,0277	0,0997						
Intervalo de Confiança da Média													
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2620	2,2620	2,2010						
<b>L. Inf.</b>	<b>3,3182</b>	<b>5,5757</b>	<b>9,1775</b>	<b>0,0969</b>	<b>0,1358</b>	<b>0,1470</b>	<b>1,6206</b>						
<b>L. Sup.</b>	<b>3,7359</b>	<b>6,2868</b>	<b>10,1029</b>	<b>0,1598</b>	<b>0,1925</b>	<b>0,1866</b>	<b>1,7472</b>						

**Tabela 4** – Características físicas de Tamarindo na fase de secagem dos ensaios de retrações

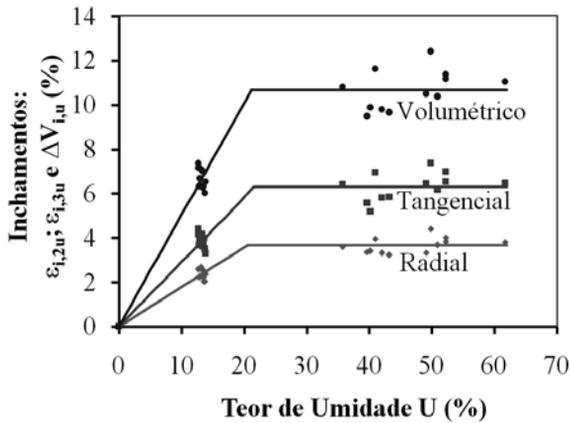
Corpos-de-prova	Umidade de condicionamento	Retrações em condicionamento, nas direções:			Exponentes das curvas, no trecho inicial, dos diagramas de retrações:		
		Radial	Tangencial	Volumétrica	Radial	Tangencial	Volumétrica
$U_{cond.} (\%)$	$\epsilon_{r,2cond} (\%)$	$\epsilon_{r,3cond} (\%)$	$\Delta V_{r,cond} (\%)$	$\beta_{0r,2}$	$\beta_{0r,3}$	$\beta_{0,vr}$	
A1	14,28	2,5766	4,1165	6,8467	1,4321	1,5376	
A2	15,24	2,8957	4,6535	7,6783	1,5089	2,0788	
A3	15,45	2,8846	4,6871	7,6731	1,3814	1,9509	
A4	15,09	2,6949	4,4752	7,2299	1,3088	1,7721	
B1	15,80	3,0921	5,0263	8,1586	1,1037	1,5179	
B2	16,30	3,2054	5,1557	8,4314	1,2497	1,7081	
B3	18,20	2,5904	3,6837	7,0341	1,0366	1,9735	
B4	16,48	2,7193	4,5236	7,5325	1,4760	1,8762	
C1	14,98	2,3356	3,9990	6,6166	1,5761	1,7057	
C2	15,63	2,4006	4,0005	6,6721	1,5942	1,8065	
C3	15,68	2,5854	4,1921	7,0520	1,5544	1,6053	
C4	14,98	2,4804	3,9769	6,6678	1,6274	1,7731	
Número	12	12	12	12	10	9	
<b>Média</b>	<b>15,68</b>	<b>2,7051</b>	<b>4,3742</b>	<b>7,2994</b>	<b>1,4041</b>	<b>1,7098</b>	
D. Padrão	0,9956	0,2684	0,4532	0,5998	0,1940	0,1103	
Intervalo de Confiança da Média							
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,3060	
<b>L. Inf.</b>	<b>15,04</b>	<b>2,5345</b>	<b>4,0862</b>	<b>6,9183</b>	<b>1,2809</b>	<b>1,6250</b>	
<b>L. Sup.</b>	<b>16,31</b>	<b>2,8756</b>	<b>4,6621</b>	<b>7,6805</b>	<b>1,5273</b>	<b>1,7945</b>	

**Tabela 5** – Outras características físicas da madeira de Tamarindo

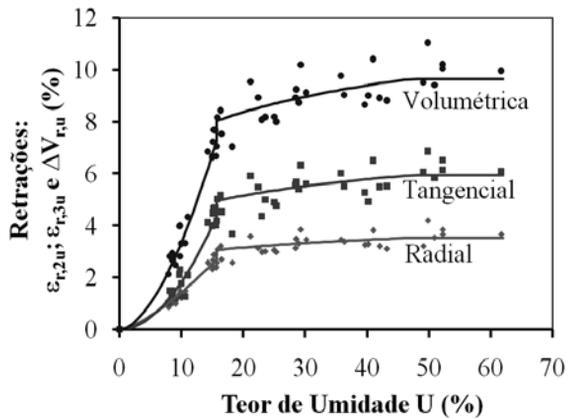
Corpos-de-prova	Umidade no ponto de interseção $U_{PI}$ (%)	Densidade aparente da madeira		Densidade básica $\rho_{bas}$ ( $g/cm^3$ )
		Seca (0%) $\rho_{ap,0\%}$ ( $g/cm^3$ )	A 12% de umidade $\rho_{ap,12\%}$ ( $g/cm^3$ )	
A1	21,47	0,8045	0,8394	0,7245
A2	21,68	0,8101	0,8611	0,7288
A3	20,98	0,8107	0,8618	0,7280
A4	19,72	0,8112	0,8622	0,7350
B1	21,40	0,8743	0,9300	0,7778
B2	20,73	0,8555	0,8774	0,7665
B3	21,05	0,9300	0,9683	0,8463
B4	21,91	0,9631	1,0339	0,8691
C1	22,37	0,8695	0,9297	0,7869
C2	22,04	0,8586	0,9218	0,7829
C3	20,90	0,8843	0,9450	0,8055
C4	20,37	0,9097	0,9730	0,8310
Número	12	12	12	12
<b>Média</b>	<b>21,22</b>	<b>0,8651</b>	<b>0,9170</b>	<b>0,7818</b>
D. Padrão	0,7497	0,0513	0,0583	0,0488
Intervalo de Confiança da Média				
t (95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010
<b>Lim. Inf.</b>	<b>20,74</b>	<b>0,8325</b>	<b>0,8800</b>	<b>0,7508</b>
<b>Lim. Sup.</b>	<b>21,70</b>	<b>0,8977</b>	<b>0,9540</b>	<b>0,8129</b>

**Tabela 6** – Características mecânicas da madeira de Tamarindo

Corpos-de-prova	Módulo de Elasticidade Longitudinal		Resistência à compressão paralela às fibras	Resistência à tração paralela às fibras	Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
	$E_{c0,12\%}$ (MPa)	$f_{c0,12\%}$ (MPa)	$f_{c0,12\%}$ (MPa)	$f_{t0,12\%}$ (MPa)	$f_{v0,12\%}$ (MPa)
A1	14065	83,17	114,83	13,19	
A2	17253	75,49	127,72	14,93	
A3	17570	70,12	105,27	17,98	
A4	13588	73,28	106,02	14,68	
B1	17025	76,81	65,33	14,81	
B2	19019	77,20	54,79	17,63	
B3	14145	65,84	88,40	18,77	
B4	16173	78,09	59,40	19,02	
C1	19741	74,77	103,03	17,03	
C2	16279	68,14	62,67	16,37	
C3	18502	77,91	72,02	15,15	
C4	17509	77,87	71,39	16,83	
Número	12	12	12	12	12
<b>Média</b>	<b>16739</b>	<b>74,89</b>	<b>85,91</b>	<b>16,36</b>	<b>16,36</b>
D. Padrão	1983,78	4,8526	24,6819	1,8241	1,8241
Coefficiente de Variação	<b>0,12</b>	<b>0,06</b>	<b>0,29</b>	<b>0,11</b>	<b>0,11</b>
<b>Valor característico</b>	---	<b>71,90</b>	<b>60,13</b>	<b>14,01</b>	<b>14,01</b>
Intervalo de Confiança da Média					
t(95%)	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010	2,2010
<b>Limite Inf.</b>	<b>15479</b>	<b>71,81</b>	<b>70,22</b>	<b>15,21</b>	<b>15,21</b>
<b>Limite Sup.</b>	<b>18000</b>	<b>77,97</b>	<b>101,59</b>	<b>17,52</b>	<b>17,52</b>

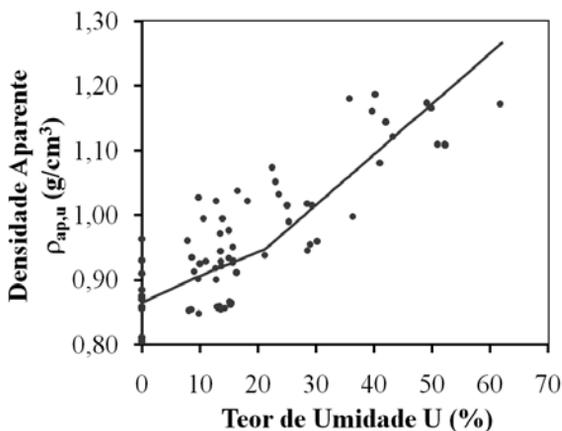


a) Diagrama de inchamentos

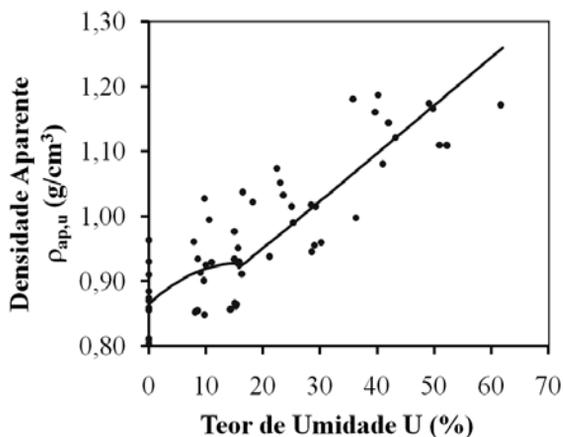


b) Diagrama de retrações

**Figura 1** –Diagramas de inchamentos e retrações para a madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, valores médios de três árvores.



a) Durante o umedecimento da madeira



b) Durante a secagem da madeira

**Figura 2** - Variação da densidade aparente com o teor de umidade para a madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, valores médios de três árvores.

Os ensaios de caracterização mecânica forneceram os valores característicos de algumas resistências e o valor médio da rigidez da madeira de Tamarindo. Para o cálculo de estruturas de madeiras, são necessários outros valores, que podem ser obtidos com o auxílio de expressões fornecidas no projeto de revisão da NBR 7190, da ABNT (2010), apresentadas e aplicadas nas Expressões (14) a (18),

$$f_{c90,k}/f_{c0,k} = 0,25 \Rightarrow f_{c90,k} = 0,25.f_{c0,k}$$

$$\text{portanto: } f_{c90,k} = 0,25.71,90 \Rightarrow f_{c90,k} \cong 17,98 \text{ MPa} \quad (14)$$

$$f_{t90,k}/f_{t0,k} = 0,05 \Rightarrow f_{t90,k} = 0,05.f_{t0,k}$$

$$\text{portanto: } f_{t90,k} = 0,05.60,13 \Rightarrow f_{t90,k} \cong 3,01 \text{ MPa} \quad (15)$$

$$f_{e0,k}/f_{c0,k} = 1,00 \Rightarrow f_{e0,k} = 1,00.f_{c0,k}$$

$$\text{portanto: } f_{e0,k} = 1,00.71,90 \Rightarrow f_{e0,k} = 71,90 \text{ MPa} \quad (16)$$

$$f_{e90,k}/f_{c0,k} = 0,25 \Rightarrow f_{e90,k} = 0,25.f_{c0,k}$$

$$\text{portanto: } f_{e90,k} = 0,25.71,90 \Rightarrow f_{e90,k} \cong 17,98 \text{ MPa} \quad (17)$$

$$E_{c90,m} = \frac{1}{20}.E_{c0,m} \text{ portanto: } E_{c90,m} = \frac{1}{20}.16739 \Rightarrow E_{c90,m} \cong 837 \text{ MPa} \quad (18)$$

nas quais:  $f_{c0,k}$ ,  $f_{c90,k}$ ,  $f_{t0,k}$ ,  $f_{t90,k}$ ,  $f_{v0,k}$ ,  $f_{e0,k}$  e  $f_{e90,k}$  são, em relação à direção das fibras, respectivamente, as resistências características à compressão paralela, à compressão normal, à tração paralela, à tração normal, ao cisalhamento, ao embutimento paralelo e ao embutimento normal;  $E_{c0,m}$  e  $E_{c90,m}$  são valores médios, respectivamente, dos módulos de elasticidade longitudinal e transversal;  $\rho_{\text{bas},m}$  e  $\rho_{\text{ap},12\%}$  são valores médios, respectivamente, da densidade básica e da densidade aparente ao teor de umidade de 12%.

## CONCLUSÕES

Os resultados indicam que a madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, possui mediana resistência mecânica e pode ser utilizada em estruturas de madeira de médio a grande porte, pois o valor característico da resistência à compressão paralela às fi-

bras ( $f_{c0,k} = 71,90$  MPa), a posiciona na classe de resistência D60, mais resistente das classes de resistência definidas no projeto de revisão da NBR 7190, da ABNT (2010), para as dicotiledôneas.

Para cálculo de estruturas de madeira executadas com madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, podem ser utilizados os valores característicos e médios, apresentados nas Tabelas 5 e 6 e nas Expressões (14) a (18).

Os coeficientes de anisotropia dimensional no inchamento,  $A_i = 1,7272$ , e na retração,  $A_r = 1,6839$ , indicam que a madeira de Tamarindo, *Martiodendron elatum* (Ducke) Gleason, é considerada normal e pode ser utilizada na fabricação de móveis que aceitem pequenos empenamentos, como mesas, cadeiras, estantes etc. Recomendam-se para trabalhos futuros, estudos sobre acabamentos, adesão e trabalhabilidade da madeira dessa espécie, permitindo uma indicação mais segura para a fabricação de móveis.

As Tabelas 2 a 6 apresentadas anteriormente, fornecem dados que podem ser utilizados, como indicativos de qualidade, por outros sectores da indústria da madeira.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeiras*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

\_\_\_\_\_. *Projeto de revisão da NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeiras*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 50p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. *Principles of wood science and technology*. Solid Wood. New York: Springer-Verlag, 1984. Vol. I, 592p.

LOGSDON, N. B.; FINGER, Z. Modelos para especificação das curvas dos diagramas de retrações e inchamentos. *Madeira: Arquitetura e Engenharia*, ano 3, n. 1, 2000. (CD-ROM, Artigo 3 Revista 3 Norman).

LOGSDON, N. B. *Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira*. 1998. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

\_\_\_\_\_. Estabilidade dimensional: sugestões para revisão da NBR 7190/97. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA,

8., Uberlândia, MG. *Anais...* Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2002. (CD-ROM, EB 012.08).

\_\_\_\_\_. Variação da densidade aparente da madeira com sua umidade, modelagem teórico experimental. *Madeira: Arquitetura e Engenharia*, ano 4, n. 12, 2004. (CD-ROM, Art\_5\_revista\_12).

LOGSDON, N. B.; PENNA, J. E. Comparison among the coefficients of dimensional anisotropy in swelling and in shrinkage. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGIES (IAWPS2005). Pacifico Yokohama. *Proceedings...* Yokohama: Japan Wood Research Society, 2005. p. 57-58.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. *Tecnologia da madeira*. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná, 1975. 216p.