

Estimativa da umidade de equilíbrio de painéis de madeira

Estimate of the equilibrium moisture content of wood panels

Graciane Angélica da Silva¹; Lourival Marin Mendes²; Natalino Calegário³;
Fábio Akira Mori⁴; José Reinaldo Moreira da Silva⁵ e Izaias Fernandes dos Santos⁶

Resumo

A partir da equação de Nelson (1983) estimou-se a Umidade de Equilíbrio (UE) de 13 diferentes produtos para 26 estados brasileiros, utilizando-se os dados das Normas Climatológicas (série 1961-1990) do Ministério de Agricultura e Reforma Agrária. Nos resultados obtiveram-se as médias mensais de UE para cada material e localidade, proporcionando, assim, uma estimativa de UE média para cada material no Brasil. Observou-se diferença significativa entre as UE dos produtos estudados. O valor mínimo de UE encontrado foi de 6,12% e o máximo de 16,73%. Observou-se também uma diferença significativa da UE entre estados, demonstrando que o comportamento destes produtos é diferente em função da localidade, o que sugere que as indústrias de painéis devem atentar a este fato, evitando assim possíveis problemas destes produtos em serviço.

Palavras-chave: Compensado, Chapa de partículas, Chapa de fibras, Umidade de equilíbrio

Abstract

Departing from Nelson's equation (1983), it was estimated the Equilibrium Moisture Content (EMC) of 13 different products for 26 Brazilian states, using data of the Climatic Norms (series 1961-1990). It was obtained the EMC monthly averages for each material and for each location. Thus, an estimate of medium EMC for each material in Brazil was obtained. The analysis of variance of the data showed a significant difference between EMC of the studied products. The values varied from the minimum of 6,12% to the maximum of 16,73%. A significant difference of EMC was observed among states, demonstrating that the behavior of these products differs in function of the place. So, the panel industries must be aware to this fact, if problems with these products and services are to be avoided.

Keywords: Plywood, Particleboard, Fiberboard, Equilibrium moisture content

INTRODUÇÃO

Quando em uso, a madeira e derivados são expostos à umidade relativa do ar e a temperaturas que variam, tanto diariamente quanto em função das estações do ano, o que sempre causa, pelo menos, pequenas alterações em seu teor de umidade. As variações diárias tendem a afetar a madeira apenas superficialmente, ao passo que, aquelas de longo prazo, podem causar alterações nas dimensões e na qualidade da madeira, comprometendo seriamente a sua utilização.

O conceito de umidade de equilíbrio para produtos reconstituídos de madeira é um pouco

diferente em relação à madeira maciça. Além da menor anisotropia, estes produtos exigem umidades baixas das lâminas ou partículas, exigência esta requerida pelo adesivo. Outro aspecto que provavelmente afeta a umidade de equilíbrio, está relacionado às variáveis de produção (MENDDES e IWAKIRI, 2002): todas aquelas inerentes à madeira (espécies, densidade da madeira, pH, teor de umidade, extrativos, local de crescimento, idade cambial, substâncias estranhas) e ao processamento propriamente dito (densidade dos painéis, razão de compactação, composição dos painéis, teor de resina e parafina, dimensão e orientação das partículas, umidade das partículas,

¹Engenheiro Florestal e Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras – Rua Nelo Totti, 183 – Centro – Monsenhor Paulo, MG - 37405-000 – E-mail: gracianeas@yahoo.com.br

²Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: lourival@ufla.br

³Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: calegari@ufla.br

⁴Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: lourival@ufla.br

⁵Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: jreinaldo@ufla.br

⁶Acadêmico de Engenharia Florestal da UFPA.

tempo de fechamento da prensa e de prensagem, temperatura de prensagem e pressão específica).

Umidade de equilíbrio estimada por fórmulas consiste em uma referência interessante no processo de secagem da madeira, principalmente no controle do processo de secagem ao ar livre (MENDES *et al.*, 1996a e MENDES *et al.*, 1999).

As teorias existentes para previsão da umidade de equilíbrio da madeira foram descritas por Skaar (1972) e remodeladas por Skarr (1988), sendo que Simpson (1971 e 1973) e Simpson e Rosen (1981) determinaram os coeficientes originais das equações baseadas nestas teorias.

Apesar da heterogeneidade da madeira quanto à espécie, extrativos, história da exposição, etc., a umidade de equilíbrio quando exposta ao ar pode ser estimada hoje, com bastante precisão, para a maioria das condições (DURLO, 1991). Exemplo disso são as tabelas e mapas de umidade de equilíbrio disponíveis para muitas cidades do país (SANTINI, 1984; LIMA *et al.*, 1995 e MARTINS *et al.*, 2003).

A teoria mais utilizada é a de Hailwood e Harrobin, sendo que vários autores a utilizam para estimar a umidade de equilíbrio em várias localidades (GALVÃO, 1975 e 1981; SANTINI, 1984; LIMA *et al.*, 1994; LIMA *et al.*, 1995; LIMA e MENDES, 1995a; LIMA e MENDES, 1995b; MENDES *et al.*, 1996b; MENDES e ARCE, 2004 e MENDES *et al.*, 2005). Utilizando a teoria de Hailwood e Harrobin, têm sido desenvolvidos programas para calcular a umidade de equilíbrio da madeira, como o estudo realizado por Eleotério *et al.* (1998).

Os produtos reconstituídos de madeira apresentam uma higroscopicidade diferente em relação à madeira maciça. Este fato é devido à redução em lâminas, partículas e a posterior incorporação de resinas, parafinas, entre outros produtos. Outro aspecto que contribui para a redução da higroscopicidade destes produtos é a utilização de altas temperaturas e pressão na consolidação final do painel (WU, 1999).

Nelson (1983) desenvolveu um modelo baseado na energia livre de Gibbs e Wu (1999) determinando através de análise de regressão, os coeficientes originais desta equação para alguns produtos à base de madeira. Silva *et al.* (2005) demonstrou que a equação de Nelson (1983) é eficiente na estimativa da umidade de equilíbrio de painéis de madeira para as condições climáticas do Brasil.

Este trabalho tem a finalidade de verificar a aplicabilidade do modelo de Nelson (1983) para os diferentes produtos reconstituídos de madeira no Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a estimativa da umidade de equilíbrio foram empregados os valores de temperaturas e umidades relativas, que abrangeram o período de 1961 a 1990 e referem-se às "Normais Climatológicas - Série 1961 a 1990", determinados pelo MARA (1992) para 26 estados brasileiros, de acordo com as fórmulas $T = (T12 + 2T00 + Tmax + Tmin)/5$ e $U = (U12 + U18 + 2U00)/4$. Os índices referem-se às horas de observações: 12h, 18h e 0h TMG (Tempo Médio de Greenwich) e Tmax e Tmin são, respectivamente, a temperatura máxima e mínima de cada dia.

A equação utilizada foi àquela ajustada por WU (1999), desenvolvida a partir do modelo proposto por Nelson (1983), baseado no modelo da energia livre de Gibbs. Esta equação apresenta a seguinte estruturação:

$$UEH = Mv \left\{ 1,0 - \frac{1}{A} \ln \left[\left(\frac{R^*T}{Ww} \right) \ln \left(\frac{RH}{100} \right) \right] \right\} \quad (1)$$

onde:

UEH = Umidade de equilíbrio higroscópico (%);

RH = Umidade relativa (%);

Ww = Peso molecular da água (18 g/mol);

R = Constante universal dos gases (1,9858 cal/mol/OK);

T = Temperatura absoluta (K);

A = Logaritmo natural da energia livre de Gibbs por grama de água absorvida com a umidade relativa próximo de zero;

Mv = Constante do material aproximado (PSF) para desorção em porcentagem.

A equação 1 pode ser simplificada para:

$$UEH = Mv + B^*RH^T \quad (2)$$

onde:

$B = -Mv/A$ e

$RH^T = \ln[(-RT/Ww)\ln(RH/100)]$

Foi estimada, então, a umidade de equilíbrio para os seguintes painéis: MDF (Medium Density Fiberboard), aglomerado convencional, chapaduro, HPL (High Pressure laminated), OSB (Oriented Strand Board) e maiores informações sobre estes produtos são encontradas em IWAKIRI (2005). Foi também estimada a umidade de equilíbrio para a madeira maciça. Os coeficientes de cada produto serão aqueles alcançados por WU (1999), conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes obtidos por WU (1999) através de análise de regressão utilizando o modelo de Nelson. (Coefficients obtained for WU (1999) in the regression analysis using Nelson's equation).

| Material | Adsorção | | Dessorção | | Histerese |
|------------------------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| | A (cal/g) | Mv (%) | A (cal/g) | Mv (%) | |
| OSB de Folhosa | | | | | |
| parede | 4,45 | 22,20 | 4,79 | 27,49 | 0,808 |
| piso interior | 4,49 | 22,94 | 4,89 | 28,28 | 0,811 |
| OSB de Conífera | | | | | |
| parede | 4,60 | 23,77 | 4,85 | 29,00 | 0,822 |
| viga em I | 4,71 | 21,77 | 5,06 | 26,70 | 0,815 |
| piso interior | 4,64 | 23,22 | 5,10 | 27,58 | 0,842 |
| Aglomerado | 5,18 | 20,02 | 5,11 | 25,93 | 0,770 |
| MDF | 4,68 | 19,13 | 4,94 | 24,94 | 0,767 |
| Chapa dura | 4,54 | 15,95 | 4,97 | 20,73 | 0,769 |
| HPL | 5,15 | 10,05 | 5,19 | 12,68 | 0,793 |
| HPL (backer*) | 5,27 | 11,52 | 5,25 | 13,61 | 0,845 |
| Madeira maciça | | | | | |
| Folhosa | 4,97 | 22,90 | 4,91 | 28,28 | 0,809 |
| Conífera | 5,11 | 22,66 | 5,17 | 27,60 | 0,821 |
| Madeira* | 4,92 | 24,80 | 5,11 | 29,60 | 0,831 |

Fonte: WU (1999)

*Dados para madeira em geral obtidos por Nelson a 25 °C

Para o cálculo da umidade de equilíbrio foi utilizado o programa SAS versão 8.0. Os dados gerados foram submetidos à análise de variância e teste de média (Scott-Knott), ao nível de 95% de probabilidade.

$$Y_{ij} = \mu + \theta_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

em que:

Y_{ij} = Umidade de Equilíbrio observada para o i-ésimo estado e o j-ésimo material;

μ = Média Geral;

θ_i = Efeito do i-ésimo estado na umidade de equilíbrio;

α_j = Efeito do j-ésimo material na umidade de equilíbrio;

ε_{ij} = Erro Aleatório;

Como pressuposições da análise de variância, os erros são considerados normais, identicamente e independentemente distribuídos, com média zero e variância σ^2 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil para o OSB de folhosa usado para parede é de 13,38%, sendo que a mínima 12,02% ocorreu em setembro e a máxima 14,47% em abril. Para os estados, a menor média é 7,95% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 17,62% em Rondônia no mês de janeiro.

Para o OSB de folhosa usado para piso interior a umidade de equilíbrio média é de 13,97%, sendo que a mínima 12,59% ocorreu em setembro e a máxima 15,08% em abril. A menor mé-

dia para os estados é 8,45% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 18,28%, em Rondônia no mês de janeiro.

Para o OSB de conífera usado para parede a umidade de equilíbrio média é 14,46%, sendo que a mínima 13,06% ocorreu em setembro e a máxima 15,60% em abril. Para os estados, a menor média é 8,82%, observada no Distrito Federal em agosto e a maior 18,87%, em Rondônia no mês de janeiro. Para o OSB de conífera para viga em I, a umidade de equilíbrio média anual é de 14,28%, sendo que a mínima 12,97% ocorreu em setembro e a máxima 15,34% em abril.

A Figura 1 e a Tabela 3 mostram que a menor média para os estados é 9,01% no Distrito Federal no mês de agosto e a maior, 18,39% em Rondônia no mês de janeiro. Dentro desta amplitude de variação ocorrem diferenças significativas entre as médias de umidade de equilíbrio entre os estados, conforme demonstrado na Tabela 2.

Para o OSB de conífera para piso interior, a umidade de equilíbrio média anual é de 13,64%, sendo que a mínima 12,40% ocorreu em setembro e a máxima 14,65% em abril. Para os estados, a menor média é 8,63% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 17,56%, observada em Rondônia no mês de janeiro.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil para o Aglomerado interior, é 13,45%, sendo que a mínima 12,32% ocorreu em setembro e a máxima 14,35% em abril. Para os estados, a menor média é 8,93% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 16,97% em Rondônia no mês de janeiro.

Tabela 2. Resumo da análise de variância da umidade de equilíbrio para painéis de madeira nos 26 estados brasileiros, determinada pela equação de Nelson (1983). (Summary of the variance analysis of Equilibrium Moisture Content for the wood panels in the 26 Brazilian states, determined by Nelson's equation (1983))

| FV | GL | QM |
|------------|-----|-----------|
| Tratamento | 12 | 207,4360* |
| Erro | 325 | 1,7730 |
| Total | 337 | |

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F

Tabela 3. Médias da umidade de equilíbrio nos 26 estados brasileiros. (Averages of the equilibrium moisture content at the 26 Brazilian states).

| Tratamentos | Médias * |
|----------------------------|----------|
| HPL | 6.67 a |
| HPL (bck) | 7.47 b |
| Chapa Dura | 10.09 c |
| MDF | 12.26 d |
| OSB Folhosa parede | 13.38 e |
| Aglomerado Interior | 13.45 e |
| OSB Conífera piso interior | 13.64 e |
| OSB Folhosa piso interior | 13.97 f |
| OSB Conífera viga em I | 14.28 f |
| OSB Conífera parede | 14.46 f |
| Madeira Folhosa | 14.55 f |
| Madeira Conífera | 14.70 f |
| Madeira em geral | 15.62 g |

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott

Tabela 4. Resumo da análise de variância da umidade de equilíbrio ao longo do ano, determinada pela equação de Nelson (1983), para painéis de madeira. (Summary of the Analysis of variance of the equilibrium moisture content to the long one of the year, determined by Nelson's equation (1983), for the wood panels).

| FV | GL | QM |
|------------|-----|-----------|
| Tratamento | 12 | 95,6336 * |
| Erro | 143 | 0,5893 |
| Total | 155 | |

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil para o MDF, é de 12,26%, sendo que a mínima 11,11% ocorreu em setembro e a máxima 13,18% em abril. Para os estados a menor média é 7,64% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 15,88% em Rondônia no mês de janeiro.

A umidade de equilíbrio média anual do Brasil para a chapa dura, é igual a 10,09%, sendo que a mínima 9,14% ocorreu em setembro e a máxima 10,89% em abril. Para os estados a menor média é 6,21% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 13,15%, em Rondônia no mês de janeiro.

Para o HPL a média é de 6,62%, sendo que a mínima 6,12% ocorreu em setembro e a máxi-

ma 7,12% em abril para o Brasil. Para os estados a menor média é 4,46%, observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 8,41% em Rondônia no mês de janeiro.

Pela Tabela 5 e Figura 2, pode-se observar que a umidade de equilíbrio média anual do Brasil, para o HPL (bck), é de 7,47%, sendo que a mínima 6,87% ocorreu em setembro e a máxima 7,95% em abril. Para os estados, a menor média é 5,06% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 9,35%, em Rondônia e no Amapá nos meses de janeiro e abril, respectivamente. A umidade de equilíbrio média anual do Brasil para madeira maciça de folhosa, é de 14,55%, sendo que a mínima 13,24% ocorreu em setembro e a máxima 15,60% em abril. Para os estados, a menor média é 9,31% observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 18,63%, em Rondônia no mês de janeiro.

Tabela 5. Média da umidade de equilíbrio, ao longo do ano. (Averages of the equilibrium moisture content per one year).

| Tratamentos | Médias* |
|----------------------------|---------|
| HPL (bck) | 6.68 a |
| HPL | 7.47 b |
| Chapa Dura | 10.11 c |
| MDF | 12.26 d |
| OSB Folhosa parede | 13.37 e |
| Aglomerado interior | 13.45 e |
| OSB Conífera piso interior | 13.64 e |
| OSB Folhosa piso interior | 13.97 f |
| OSB Conífera viga em I | 14.28 f |
| OSB Conífera parede | 14.46 f |
| Madeira Folhosa | 14.54 f |
| Madeira Conífera | 14.71 f |
| Madeira em geral | 15.62 g |

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Para madeira maciça de conífera a média é de 14,71%, sendo que a mínima 13,48% ocorreu em setembro e a máxima 15,70% em abril para o Brasil. Para os estados, a menor média é 9,77% no Distrito Federal no mês de agosto e a maior é 18,56%, em Rondônia no mês de janeiro.

Para a madeira maciça, em geral, a média é de 15,62%, sendo que a mínima 14,26% ocorreu em setembro e a máxima 16,73% em abril para o Brasil. Para os estados a menor média 10,14% no Distrito Federal no mês de agosto e a maior 19,91% em Rondônia no mês de janeiro (Figura 1 e 2).

Em geral, a umidade de equilíbrio média anual do Brasil para todos os produtos teve sua mínima no mês de setembro e sua máxima no mês de abril.

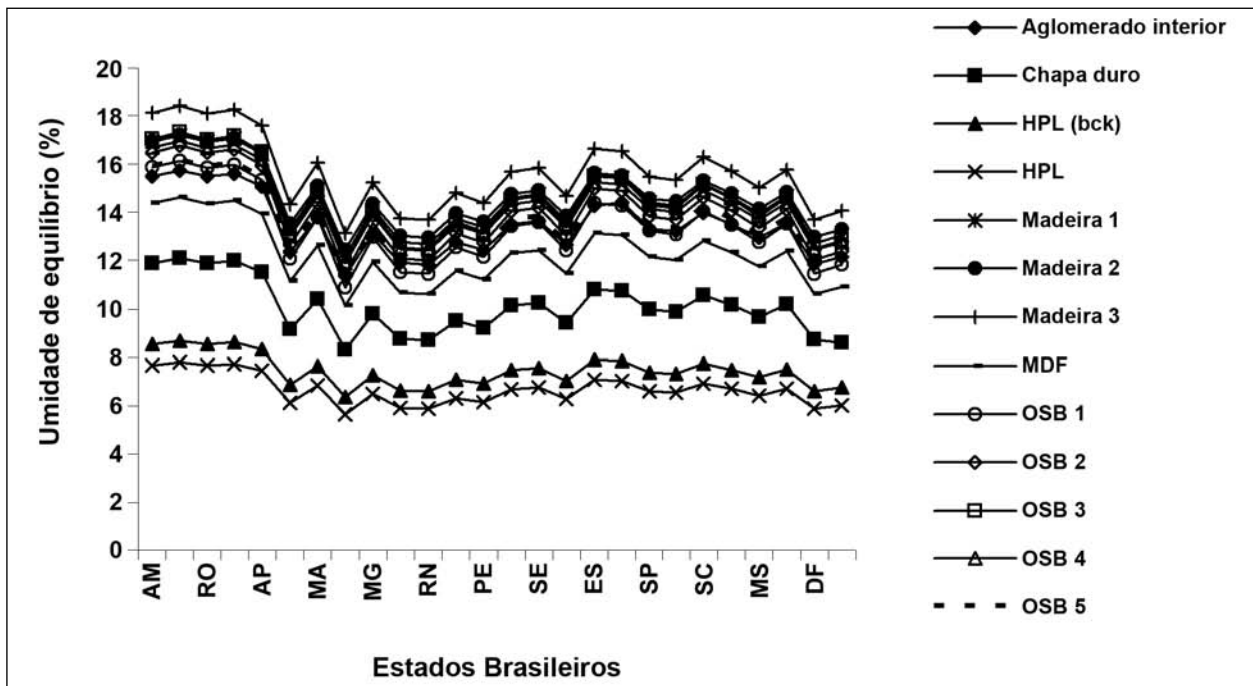


Figura 1. Distribuição da umidade de equilíbrio estimada dos materiais para os 26 estados, segundo a equação de Nelson (1983). (Distribution of the equilibrium moisture content of the materials for the 26 states, according to by Nelson's equation (1983)).

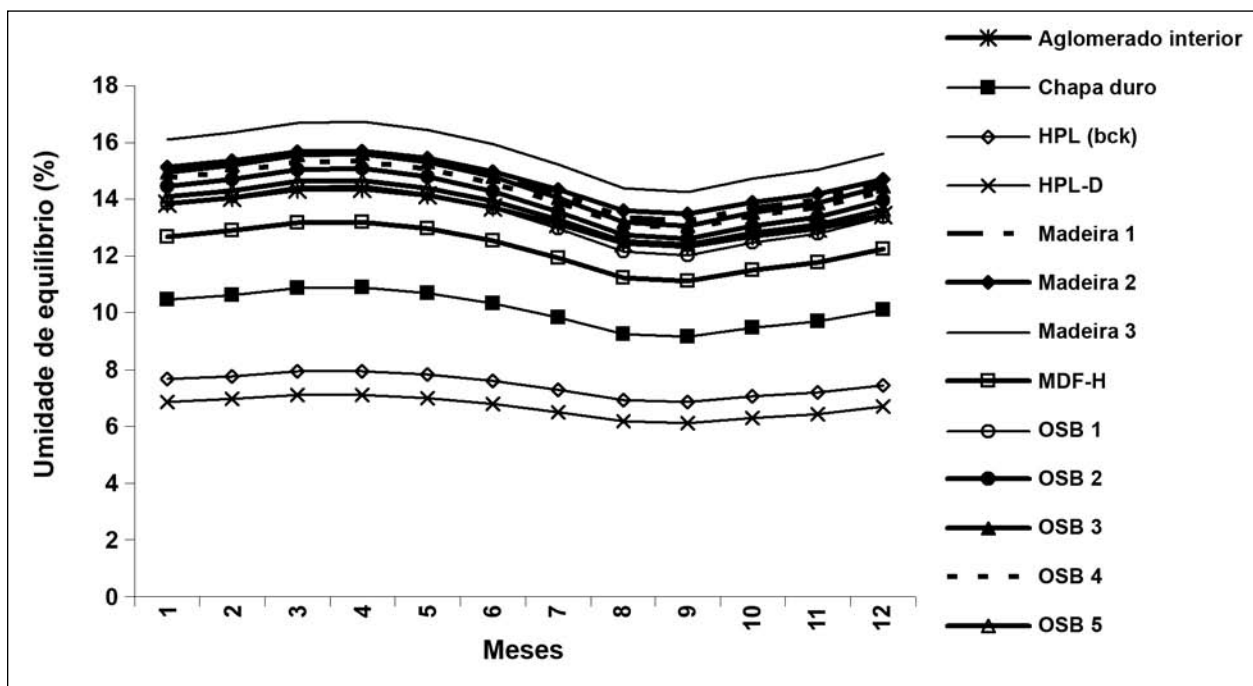


Figura 2. Distribuição da umidade de equilíbrio estimada dos materiais para os meses, segundo a equação de Nelson (1983). (Distribution of the equilibrium moisture content of the materials for the months, according to by Nelson's equation (1983)).

Para todos os estados, a menor média foi observada no Distrito Federal no mês de agosto e a maior em Rondônia no mês de janeiro.

A maior média da relação entre estado e umidade de equilíbrio é 18,39% para a madeira 3 no estado do Acre e a menor média é 6,36% para o HPL (bck) no estado do Piauí.

A Figura 1 mostra a variação da umidade de equilíbrio estimada para os produtos estudados por estados da federação, sendo que esta varia-

ção por estado está de acordo com aquela encontrada por diversos autores (GALVÃO, 1975 e 1981; SANTINI, 1984; LIMA *et al.*, 1994; LIMA *et al.*, 1995; LIMA e MENDES, 1995a; LIMA e MENDES, 1995b; MENDES *et al.*, 1996b; MENDES e ARCE, 2004 e MENDES *et al.*, 2005) para madeira maciça.

Pode-se observar que a maior média da relação entre meses e umidade de equilíbrio é 16,73% para a madeira 3 (madeira em geral) no

mês de abril, e a menor média é 6,12%, para o HPL no mês de setembro. A Figura 2 mostra a variação da umidade de equilíbrio estimada para os produtos estudados durante os meses do ano.

O HPL, a chapa dura e o MDF apresentam menor umidade de equilíbrio, em função da maior densificação, conforme demonstra Iwakiri (2005) sobre o processo produtivo destes produtos e Marra (1992) sobre a tabela não periódica dos elementos de madeira, assegurando que conforme as toras são convertidas em elementos menores, com a redução do comprimento, largura e espessura, a natureza do processo industrial empregado e as características do produto final serão diferenciadas, pois haverá maior superfície de contato das partículas, maior razão de compactação, maior formabilidade, maior consumo de resina e aumento da homogeneidade e isotropia.

Tabela 6. Resumo da análise de variância da amplitude de umidade de equilíbrio ao longo do ano. (Summary of the analysis of variance of the amplitude of equilibrium moisture content to the long one of the year).

| FV | GL | QM |
|------------|-----|------------|
| Tratamento | 12 | 22.454131* |
| Erro | 143 | 0.644136 |
| Total | 155 | |

* significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 7. Médias de Amplitude de umidade de equilíbrio, ao longo do ano. (Averages of Amplitude of equilibrium moisture content, to the long one of the year).

| Tratamentos | Médias* |
|----------------------------|---------|
| HPL | 2.67 a |
| HPL (bck) | 2.90 a |
| Chapa Dura | 4.68 b |
| Aglomerado Interior | 5.43 c |
| MDF | 5.57 c |
| Madeira Conífera | 5.94 d |
| OSB Conífera piso interior | 6.04 d |
| Madeira folhosa | 6.30 d |
| OSB Conífera viga em l | 6.34 d |
| OSB Folhosa parede | 6.54 d |
| Madeira em geral | 6.60 d |
| OSB Folhosa piso interior | 6.64 d |
| OSB Conífera parede | 6.79 d |

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se chegar às seguintes conclusões:

- Existe diferença significativa da Umidade de Equilíbrio entre os produtos estudados;
- Existe diferença significativa da Umidade de

Equilíbrio dos produtos entre os estados da fenação;

- Existe diferença significativa da amplitude de Umidade de Equilíbrio, ao longo do ano, o que denota uma variação na estabilidade dimensional dos produtos;
- Os produtos reconstituídos de madeira, devido à maior densificação, apresentam menor umidade de equilíbrio, em relação à madeira maciça;
- A equação de Nelson estima valores de umidade de equilíbrio próximos dos reais ou coerentes para painéis de madeira no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento do Projeto "Estudo da umidade de equilíbrio de painéis de madeira no Brasil", o que possibilitou a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DURLO, M.A. Relação água-madeira. In: SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA, 10, 1991, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: UFSM, CEPEF/FA-TEC, 1991. 100p.

ELEOTÉRIO, J.R.; HASELEIN, C.R. ; GIACOMINI, N.P. Programa para estimativa da umidade de equilíbrio da madeira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.8, n.1, p.13-22, 1998.

GALVÃO, A.P.M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. *IPEF*, Piracicaba, n.11, p.53-65, 1975.

GALVÃO, A.P.M. A umidade de equilíbrio e a secagem da madeira em Brasília. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Curitiba, n.3, p.1-7, 1981.

IWAKIRI, S. *Painéis de madeira reconstituída*. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

LIMA, C.R.; SILVA;F.A.C.; COSTA, M.S.F. Estimativas de umidade de equilíbrio (Uep) para madeira e/ou produtos derivados para região nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ESTUDOS AMBIENTAIS SOBRE ECOSSISTEMAS FLORESTAIS, 3, 1994, Porto Alegre. *Anais...* p.30-34

LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em Lavras, MG. *Ciência e Prática*, Lavras, v.19, n.1, p.120-121, 1995a.

- LIMA, J.T.; MENDES, L.M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em trinta e duas cidades do Estado de Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.19, n.2, p.272-276, 1995b.
- LIMA, J.T.; MENDES, L.M.; CALEGÁRIO, N. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras no Brasil. *Revista da Madeira*, Caxias do Sul, v.4, n.23, 1995.
- MARTINS, V.A.; ALVES, M.V.S.; SILVA, J.F.; REBELLO, E.R.G.; PINHO, G.S.C. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. *Brasil Florestal*, Brasília, n.76, p.29-34, 2003.
- MARRA, A.A. *Technology of bonding*. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- MENDES, L.M.; ARCE, J. Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira. *Cerne*, Lavras, v.9, n.2, p.141-152, 2004.
- MENDES, L.M.; IWAKIRI, S. Perspectivas para o uso da madeira de eucalipto para produção de OSB (Oriented Strand Board). In: SEMINÁRIO SÓLIDOS DE EUCALIPTO: avanços científicos e tecnológicos, 1, 2002, Lavras. *Anais...* Lavras, 2002. p.156-165.
- MENDES, L.M.; LIMA, J.T.; CALEGÁRIO, N. Umidades de equilíbrio médias de madeiras para 206 cidades brasileiras calculadas pela fórmula de Simpson. *Revista da Madeira*, Caxias do Sul, n.26, p.18, 1996 b.
- MENDES, L.M.; CALEGÁRIO, N.; SILVA, G.A.; MELO, V.M.; LOPES, Y.L.V.; PÁDUA, F.A.; CARDOSO JR, A.A. Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira: parte 2. *Brasil Florestal*, Brasília, 2005 (no prelo).
- MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M.; LIMA, J.F.; TRUGILHO, P.F. Controle do processo de secagem da madeira ao ar livre. *Boletim Técnico UFLA*, n.28, p.26-49, 1999.
- MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M.; LIMA, J.F.; TRUGILHO, P.F.; REZENDE, E.C. Secagem da madeira ao ar livre e alguns pontos básicos para compra de madeira serrada. *Boletim Técnico UFLA*, n.21, p.16-30, 1996 a.
- NELSON, R.M. A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. *Wood Fiber Science*, v.15, n.1, p.8-22, 1983.
- SANTINI, E.J. Umidade de equilíbrio para algumas cidades do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5, 1984, Nova Prata. *Anais...* Nova Prata, 1984. p.828-840
- SILVA, G.A.; MENDES, L.M.; CALEGÁRIO, N.; MORI, F.A.; SILVA, J.R.M.; SANTOS, I.F. Umidade de equilíbrio de painéis de madeira. *Revista Árvore*, v.29, n.4, p.647-653, 2005.
- SIMPSON, W.T. Equilibrium moisture content prediction for wood. *Forest Products Journal*, v.21, n.5, p.48-9, 1971.
- SIMPSON, W.T. Predicting equilibrium moisture content by mathematical models. *Wood and Fiber*, v.5, n.1, p.41-45, 1973.
- SIMPSON, W.T.; ROSEN, H.N. Equilibrium moisture content of wood at high temperatures. *Wood and Fiber*, v.13, n.3, p.150-158, 1981.
- SKAAR, C. *Water in wood*. New York: Syracuse University Press, 1972.
- SKAAR, C. *Water in wood*. New York: Syracuse University Press, 1988.
- WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. *Wood and Fiber Science*, v.28, n.2, p.227-239, 1999.

Recebido em 27/04/2004

Aceito para publicação em 17/02/2006

