



SAZONALIDADE DA UMIDADE DE EQUILÍBRIO DAS MADEIRAS TROPICAIS NA REGIÃO NORTE DO MATO GROSSO POR MEIO DE MODELOS CLIMÁTICOS

Verônica S. Kazama¹; Cleverson Cassiano¹; Luan Lima Mota¹;
Adilson Pacheco de Souza²; Janaina Paulino²; Diego Martins Stangerlin³

¹ Eng. Florestal, Graduando, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop, Av. Alexandre Ferronato 1200, Distrito Industrial, CEP: 78550-000, Sinop-MT.

² Eng. Agrícola, Prof. Adjunto, ICAA, UFMT, Campus Sinop, (0xx66) 3531 16363, adilsonpacheco@ufmt.br

³ Eng. Florestal, Prof. Adjunto, ICAA, UFMT, Campus Sinop.

**Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia
– 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes,
Universidade Federal do Para, Belém, PA**

RESUMO: Objetivou-se avaliar as médias mensais da umidade de equilíbrio (UE) da madeira nas condições climáticas de Sinop, MT, entre 01/05/2011 e 04/04/2012, para aplicações em programas de secagem. Foram avaliados os desempenhos estatísticos de cinco modelos de estimativa (Simpson, Hailwood e Harrobin de um hidrato, Hailwood e Harrobin de dois hidratos, Bradley e BET). Todos os modelos apresentam a tendência de diminuição da UE no período, com menores variações pelo modelo de Hailwood e Harrobin de dois hidratos. No período seco (maio a setembro) a umidade de equilíbrio variou entre 6 e 12% e no período chuvoso (outubro a abril) entre 4,5 e 21%. O modelo de Simpson apresentou os melhores desempenhos e deve ser empregado em agrupamentos mensais.

PALAVRAS-CHAVE: higroscopicidade; madeira tropical; parâmetros de secagem natural.

SEASON OF EQUILIBRIUM CONTENT MOISTURE OF TROPICAL WOOD BY CLIMATE MODELS FOR THE NORTHERN OF MATO GROSSO STATE

ABSTRACT: Evaluated the monthly averages of equilibrium moisture content (UE) of tropical wood, in climatic conditions of Sinop, MT, between 01/05/2011 and 04/04/2012, for applications in drying programs. Evaluated the performance of five statistical models to estimate (Simpson, Hailwood and Harrobin one hydrate, Hailwood and Harrobin two hydrates, Bradley and BET). All models feature the downward trend of the UE in the period, with minor variations by model Hailwood and Harrobin two hydrates. during the dry season (May to September) the equilibrium moisture content ranged between 6 and 12% and in the rainy season (October to April) between 4.5 and 21%. Simpson's model showed the best performance and should be employed in monthly groupings.

KEYWORDS: hygroscopicity; tropical timber; natural drying parameters.

INTRODUÇÃO

A definição da umidade de equilíbrio da madeira pode propiciar melhorias nas suas formas de utilização, principalmente em aplicações externas, amenizando o desenvolvimento de





alterações dimensionais e deformações como empenamentos, arqueamentos, torções, inchamentos, contrações, entre outros, que normalmente são verificados em madeiras empregadas que não atingiram o equilíbrio higroscópico com o ambiente.

Na literatura são observadas diferentes metodologias para a avaliação sazonal da umidade de equilíbrio. Experimentalmente, a sua determinação pode ser baseada na exposição de amostras nas condições ambientais de temperatura e umidade do ar (ensaios de campo), para um local específico, ou pela exposição de amostras em ambiente controlado por secadores artificiais, câmaras climáticas (Pérez-Peña et al., 2011; Eleotério e Silva, 2012).

Para aplicações e avaliações práticas, normalmente são empregados gráficos e/ou equações de estimativas, que consideram as variações da temperatura (T) e da umidade relativa do ar (UR) ligadas aos processos de absorção, adsorção e dessorção, independentemente da espécie (Baronas et al., 2001; Mendes e Arce, 2003; Chen et al., 2009). A maioria dos modelos de estimativa da umidade de equilíbrio emprega a teoria de sorção da água na madeira proposta por Hailwood e Harrobin considerando um ou dois extratos (Martins et al., 2003; Baraúna e Oliveira, 2009; Pérez-Peña et al., 2011). No entanto, existem outras equações baseadas em outras teorias como a de BET, Bradley e Simpson (1971) que podem ser aplicadas para as condições brasileiras.

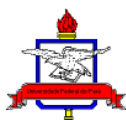
Nesse sentido, é importante destacar que, podem ser encontradas diferenças entre os valores de umidade de equilíbrio estimados por diferentes modelos quando comparados com os valores observados, perfazendo assim, a necessidade de calibrações para as diferentes condições climáticas. Devido a crescente procura pela madeira e da sua importância econômica para a região Norte do estado de Mato Grosso, torna-se fundamental conhecer as suas interações com o ambiente e a dinâmica anual da umidade de equilíbrio de diferentes madeiras tropicais. Este trabalho objetivou avaliar a sazonalidade da umidade de equilíbrio da madeira estimada por cinco modelos, nas condições climáticas de Sinop, Mato Grosso.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso em Sinop-MT, (11,98°S; 55,56° W e altitude 371m), entre 10/04/2011 e 09/04/2012. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como tropical quente e úmido, com duas estações bem definidas: chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro).

Na área experimental foi instalada uma estação meteorológica automática equipada com um sistema de aquisição de dados CR 1000 da Campbell Scientific e composta pelos seguintes sensores: radiação solar global (piranômetro CS300) a 1 e 2 m de altura, radiação PAR (Licor) a 2 m de altura, velocidade e direção do vento (anemômetro, 03002-L RM YOUNG) a 10 metros de altura, psicrômetro com abrigo termométrico (Vaisala, CS 215) a 2 m de altura e pluviógrafo (TE 525) a 1,5 m de altura. Para todos os sensores foram atribuídas como valores instantâneos as médias ou integrações de 300 leituras (obtidas em cinco minutos). Esses dados foram empregados para obtenção dos valores médios, máximos e mínimos diários das variáveis utilizadas na estimativa da umidade de equilíbrio.

A umidade de equilíbrio da madeira com o ambiente foi obtida pela relação entre a massa de água contido no interior do corpo de prova e a massa do corpo de prova seco. Foram avaliados os modelos de estimativa de UE propostos por Simpson (1971) e as suas variações,



Hailwood e Harrobin (equação de um hidrato) – (HH-1 hidrato), Hailwood e Harrobin (equação de dois hidratos) – (HH – 2 hidrato), Bradley e BET descritas por Skaar (1972).

i) Método de Simpson (1971):

$$UE = \left[\frac{K_1 K_2 H}{1 + K_1 K_2 H} + \frac{K_2 H}{1 - K_2 H} \right] \frac{1800}{W} \quad (1)$$

em que: UE = umidade de equilíbrio (%); H = pressão de vapor relativa (UR/100); W = peso molecular da unidade polimérica que forma o hidrato; K1 e K2 são constantes de equilíbrio, obtidas em função da temperatura (Tc) em graus Celsius.

$$K1 = 4,737 + 0,04773 T_c - 0,00050123 T_c^2 \quad (2)$$

$$K2 = 0,705941 + 0,001698 T - 0,000005553 T_c^2 \quad (3)$$

$$W = 223,384 + 0,06942 T + 0,0185324 T_c^2 \quad (4)$$

ii) Método de Hailwood e Harrobin (equação de um hidrato):

$$UE = \left[\frac{K_1 K_2 H}{1 + K_1 K_2 H} + \frac{K_2 H}{1 - K_2 H} \right] \frac{1800}{W} \quad (5)$$

em que: $K_1 = 3,730 + 0,03642 T - 0,000154 T_F^2$ (6)

$$K_2 = 0,6740 + 0,001053 T - 0,000001714 T_F^2 \quad (7)$$

$$W = 216,9 + 0,01961 T + 0,005720 T_F^2 \quad (8)$$

T_F = Temperatura, em graus Fahrenheit;

iii) Método de Hailwood e Harrobin (equação de dois hidratos):

$$UE = \left[\frac{K.H}{1 + K.H} + \frac{K.H.K_1 + 2K_1 K_2 K_2^2 H^2}{1 + K.H.K_1 + K_1 K_2 K_2^2 H^2} \right] \frac{1800}{W} \quad (9)$$

em que: $K = 0,791 + 0,000463 T_F - 0,000000844 T_F^2$ (10)

$$K_1 = 6,34 + 0,000775 T_F - 0,0000935 T_F^2 \quad (11)$$

$$K_2 = 1,09 + 0,0284 T_F - 0,0000904 T_F^2 \quad (12)$$

$$W = 330 + 0,452 T_F + 0,00415 T_F^2 \quad (13)$$

iv) Método de Bradley:

$$\ln\left(\frac{1}{H}\right) = K_2 K_1^{UE} + K_3 \quad (14)$$

em que: $K1 = 0,849 - 0,000236 T_C$ (15)

$$K2 = 3,64 + 0,00316 T_C - 0,0000482 T_C^2 \quad (16)$$

$$K3 = 0,00949 - 0,0000456 T_C \quad (17)$$

v) Método de BET:

$$UE = \left[\left(\frac{Wm.C.H}{1-H} \right) \left(\frac{1 - [n+1]H^n + n.H^{n+1}}{1 + [C-1]H + -C.H^{n+1}} \right) \right] \quad (18)$$



em que: $W_m = 7,4 - 0,020T_F$ (teor de umidade quando o teor de adsorção monomolecular esta completo); $C = 6$ (constante relacionada com a energia de adsorção); $n = 4,6 + 0,020T_F$ (número de camadas por sítio de adsorção).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentadas as variações dos elementos meteorológicos que influenciaram diretamente na umidade de equilíbrio da madeira ao longo do período de avaliação (maio/2011 a abril/2012). Nota-se a formação de duas épocas distintas caracterizadas pelo regime pluvial da região, que afetaram o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar, além das oscilações da radiação solar global. No período seco (maio a setembro), os extremos da temperatura do ar ocorreram em setembro (38,63 °C) e em agosto (12,16 °C), enquanto que no período chuvoso, observou-se uma diminuição da amplitude térmica diária para $9,98 \pm 2,37$ °C (entre outubro e abril).

As menores variações sazonais da umidade de equilíbrio foram observadas pelas estimativas empregando o modelo de Hailwood e Harrobin para dois hidratos, com médias mensais oscilando entre 10,87 e 12,44% em setembro e janeiro, respectivamente (Figura 2). Em contrapartida, os modelos de Bradley e Hailwood e Harrobin para um hidrato apresentaram variações de 10,43 e 10,35% entre o período seco e chuvoso, respectivamente. As médias anuais estimadas de umidade de equilíbrio (UE) foram de $10,68 \pm 4,15$; $15,27 \pm 4,43$; $11,88 \pm 0,65\%$, $9,99 \pm 1,62$; e $16,25 \pm 4,80\%$ para os modelos de Simpson, Hailwood e Harrobin um hidrato, Hailwood e Harrobin dois hidratos, BET e Bradley, respectivamente.



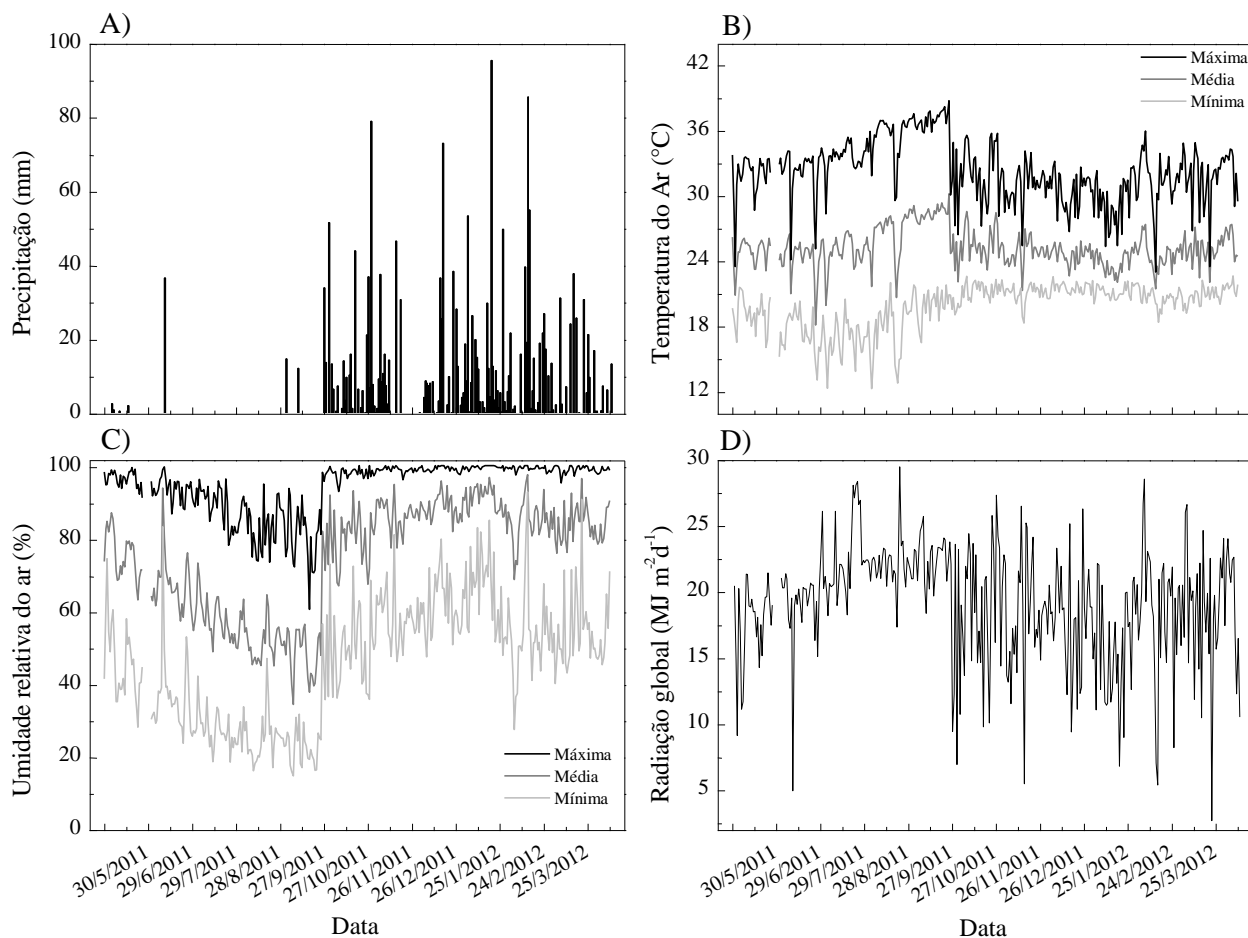


Figura 1. Evolução anual das precipitações pluviais (A), temperatura do ar (B), umidade relativa do ar (C) e da radiação global (D) entre 01/05/2011 e 04/04/2012, em Sinop, MT.

Mendes e Arce (2003) obtiveram como valores médios anuais de UE estimados pela equação de Hailwood e Harrobin de um hidrato iguais a 15,12%, com mínimos de 13,61% (setembro) e máximos de 16,33% (abril), e pela equação de Hailwood e Harrobin de dois hidratos, média anual de 15,00% com mínimos e máximos de 13,51% e 16,20%, respectivamente. Galvão (1975; 1981) verificou valores médios de UE variando de 12,2% (Brasília) a 18,8% (Belém) para diferentes cidades brasileiras. Segundo Martins et al. (2003), pela aplicação do modelo de Simpson (1971), na região Norte e parte da região litorânea brasileira, as médias anuais de UE variam de 16 a 18%, enquanto que para o estado do Mato Grosso, as oscilações ocorrem 14 e 16% nas médias anuais. Contudo, a aplicação de diferentes métodos de estimativa de UE propicia valores generalizados para todas as espécies.

CONCLUSÕES

As estimativas de umidade de equilíbrio estimados por modelos parametrizados devem ser obtidas por meio de dados médios de temperatura do ar e umidade relativa do ar, em agrupamentos mensais. As estimativas de UE realizadas pelo modelo de Simpson (1971) e de

Hailwood e Harrobin (equação de um hidrato) apresentam sazonalidade semelhante aos elementos meteorológicos medidos na região.

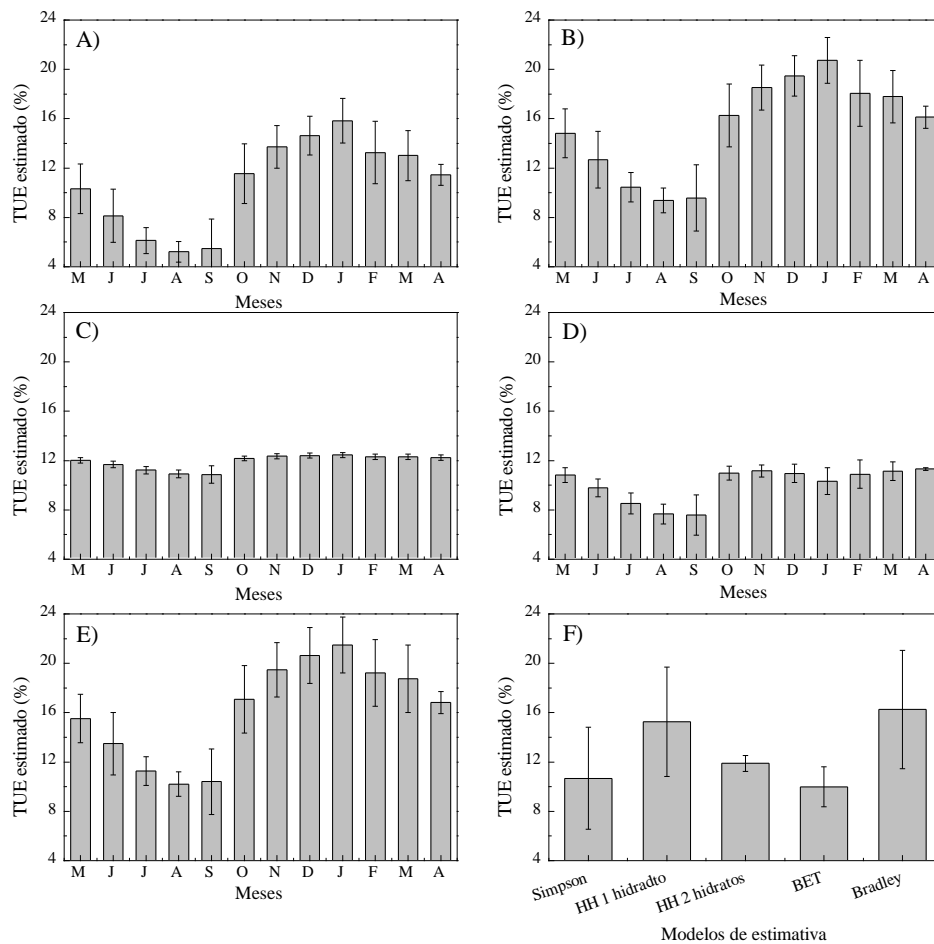


Figura 2. Variações médias mensais da umidade de equilíbrio (UE) estimada pelos modelos de Simpson (1971) (A), Hailwood e Harrobin (1 hidrato) (B), Hailwood e Harrobin (2 hidratos) (C), Bet (D) e Bradley (E) e suas respectivas médias anuais (F).

REFERÊNCIAS

BARAÚNA, E.E.P.; OLIVEIRA, V.S. Umidade de equilíbrio da madeira de Angelim vermelho (*Dinizia excelsa*), guariúba (*Clarisia racemosa*) e taurari vermelho (*Cariniana micrantha*) em diferentes condições de temperatura e umidade relativa. *Acta Amazonica*, v.39, n.1, p.91-96, 2009.

BARONAS, R.; IVANAUSKAS, F.; JUODEIKIENE, I.; KAJALAVIČIUS, A. Modelling of moisture movement in wood during storage. *Nonlinear analysis: modeling and control*, v.6, n.2, p.3-14, 2001.

CHEN, Z.; MOUGEL, E.; PERRÉ, P.; YOUNGS, R.L. Equilibrium moisture content of Norway spruce at low temperature. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.41, n.3, p.325-328, 2009.

ELEOTÉRIO, J.R.; SILVA, C.M.K. Comparação de programas de secagem para Cumaru (*Dipteryx odorata*), Jatobá (*Hymenaea spp*) e Muiracatiara (*Astronium lecointei*) obtidos por diferentes métodos.



XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013
Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia



Scientia Florestalis, Piracicaba, v.40, n.96, p.537-545, 2012.

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, v.76, n.1, p.29-34, 2003.

MENDES, L.M.; ARCE, J.E. Análise comparativa das equações utilizadas para estimar a umidade de equilíbrio da madeira. **Cerne**, Lavras, v.9, n.2, p.141-152, 2003.

PÉREZ-PEÑA, N.; VALENZUELA, L.; DIAZ-VAZ, J.E.; ANANÍAS, R.A. Predicción del contenido de humedad de equilibrio de la madera en función del peso específico de la pared celular y variables ambientales. **Maderas. Ciencia y Tecnología**, Concepción, v.13, n.3, p.253-266, 2011.

SKAAR, C. **Water in wood**. New York: Syracuse Univ. Press, 218p. 1972.

SIMPSON, W.T. Equilibrium moisture content prediction for wood. **Forest Products Journal**, Madison, v.21, n.5, p.48-49, 1971.

