

UMIDADE DE EQUILÍBRIO DA MADEIRA NA REGIÃO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL EM DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO

Tamires Fioresi¹, Sintia Piroca², Henrique Weber Dalla Costa¹, Rômulo Trevisan³, Fabiano de Oliveira Fortes³, Darci Alberto Gatto⁴

Resumo: O estudo teve como objetivo determinar a umidade de equilíbrio da madeira na região Norte do estado do Rio Grande do Sul em diferentes estações do ano. Para tanto, foram utilizados dados diários de umidade relativa do ar e temperatura, coletados entre os anos de 1990 e 2009, os quais são disponibilizados pela EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul. A estimativa da umidade de equilíbrio foi realizada pela equação de Simpson (1971) baseada na teoria de Hailwood e Horrobin. A partir dessa equação, foi calculado o teor médio da umidade de equilíbrio da madeira para cada estação do ano: primavera, verão, outono e inverno, sendo considerados como tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente, totalizando 20 repetições. Com base nos resultados obtidos, foi observado que o teor de umidade de equilíbrio variou nas estações do ano, com o outono possuindo a média mais elevada, igual a 15,6%, e não diferindo do inverno, o qual apresenta um teor de umidade de equilíbrio de 15,5%. Contudo, apresentaram diferença em relação à primavera e ao verão, correspondendo a um teor de umidade de equilíbrio com valores médios de 14,1% e 14,7%, respectivamente.

Palavras-chave: umidade relativa do ar; temperatura; secagem da madeira.

EQUILIBRIUM MOISTURE OF WOOD IN THE NORTHERN REGION OF RS IN DIFFERENT SEASONS

Abstract: The present study aims to determine the moisture equilibrium of wood in the northern region of Rio Grande do Sul in different seasons, using data of relative humidity and temperature. Data were collected between the years 1990 and 2009, and were provided by EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul. The estimate of the equilibrium moisture

¹ Graduando do curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/Campus Frederico Westphalen – RS. <tamires_fioresi@yahoo.com.br>, <henriqueflorestal@gmail.com>.

² Engenheira Florestal, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM/Campus Frederico Westphalen – RS. <sintia_sp@hotmail.com>.

³ Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal - UFSM/Campus Frederico Westphalen – RS. <romulo_trevisan@yahoo.com.br>, <fabianofortes@gmail.com>.

⁴ Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Industrial Madeireira - Pelotas/UFPel. <darciatto@yahoo.com>.

content was obtained through Simpson's equation (1971) using the theory of Hailwood and Horrobin. From this equation, the average equilibrium moisture content for each season (spring, summer, autumn and winter) was calculated, these seasons considered as treatments 1, 2, 3 and 4, respectively, and totaling 20 repetitions. Based on the results it was observed that the equilibrium moisture content varied over the seasons, with autumn having the highest average, equal to 15.6% and did not differ from winter, which has a moisture content of balance 15.5%. These levels, on the other hand, differ in relation to the spring and summer, corresponding to an equilibrium moisture content with average values of 14.1% and 14.7%, respectively.

Keywords: relative humidity; temperature, wood drying.

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico, de estrutura complexa, heterogênea (SILVA et al., 2006) e caracteriza-se por ser higroscópico, retraindo e inchando de acordo com a umidade do ambiente (SILVA; OLIVEIRA, 2003). Uma árvore recém-abatida encontra-se saturada, variando a quantidade de água de acordo com a espécie e até mesmo, depois de desdobrada, dentro da própria tábua. A remoção dessa água, na maioria das vezes, está diretamente relacionada com o uso final e com as condições de serviço às quais está sujeita (COSTA et al., 2001).

Os tipos de água existentes na madeira podem ser classificados em água livre ou de capilaridade, localizada nos lumes e espaços intercelulares, retida por meio de forças capilares, acima do ponto de saturação das fibras (PSF); e água higroscópica ou de impregnação, presente nos espaços sub-microscópicos da parede celular e retida por forças elétricas polares (JANKOWSKI, 1990; STANGERLIN, 2009).

O PSF se refere ao teor de umidade em que, teoricamente, apenas as paredes celulares estão saturadas de água (higroscópica), com lumes e espaços intercelulares sem água livre. Para as espécies em geral, está em torno de 30% e é de grande importância prática na secagem da madeira (SKAAR, 1988). De acordo com Schultz (2008) e Galvão; Jankowsky (1985), em teores abaixo desse ponto ocorrem as indesejáveis variações na estrutura da madeira, decorrentes de tensões ocasionadas pela saída da água, tais como: contrações que podem causar defeitos como empenamentos e rachaduras e, conseqüentemente, alterações na sua resistência física e mecânica.

Quando exposta a determinadas condições de temperatura e umidade relativa, a madeira perde umidade (água) até entrar em equilíbrio com o ambiente (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

Eleotério et al. (1998), destacaram a importância em considerar este fator quando da utilização da madeira exposta ao ar, pois a estabilização de qualquer peça, sem observar tal característica, poderá resultar em defeitos, tais como frestas em assoalhos, empenamentos de paredes e portas, ou até mesmo, em esforços em elementos estruturais. Além das condições climáticas, outros fatores influenciam a umidade de equilíbrio: espécies, tipos de madeira, teor de extrativos, diferença entre cerne e alborno da mesma espécie, composição química, histórico de exposição, tensões mecânicas e radiação solar.

Apesar da heterogeneidade da madeira, Durlo (1991), afirmou que a umidade de equilíbrio pode ser estimada com elevada precisão para a maioria das condições. Para isso, torna-se necessário estimar os valores mínimo e máximo para a localidade na qual a madeira será utilizada, o que pode ser realizado a partir de tabelas ou equações matemáticas (JANKOWSKY, 1985). Entretanto, os trabalhos de Jankowsky; Galvão (1979) comprovaram que as equações apresentadas por Simpson (1971) são válidas apenas para coníferas ou para madeira com baixo teor de extrativos.

Diversos modelos proporcionam a avaliação da umidade de equilíbrio da madeira, porém, conforme Bergman (2010), a maioria baseia-se nas equações ajustadas por Simpson (1971). De acordo com Galvão (1975), o método desenvolvido por Simpson (1971), com base na teoria da adsorção de Hailwood e Horrobin, permite calcular a umidade de equilíbrio da madeira em função da temperatura e umidade relativa, a exemplo das tabelas e mapas de umidade de equilíbrio disponíveis para muitas cidades do Brasil.

Entretanto, Eleotério; Silva, (2011) e Trugilho et al. (2000) observaram que os valores de umidade de equilíbrio estimados por meio das equações apresentadas por Simpson (1971) subestimaram os valores reais para a ampla maioria dos casos. O melhor resultado foi obtido quando se utilizou os parâmetros da isoterma determinados para cada espécie e temperatura. Nesse caso, os desvios se distribuíram em torno de zero e com variação consideravelmente menor. Portanto, a maneira de minimizar os erros relativos à umidade de equilíbrio é a partir do ajuste dos parâmetros da isoterma para cada espécie e temperatura.

Dessa maneira, essa pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de determinar a umidade de equilíbrio da madeira na região Norte do estado do Rio Grande do Sul nas diferentes estações do ano.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a determinação da umidade de equilíbrio da madeira foram utilizados dados diários de umidade relativa do ar e temperatura, coletados entre os anos de 1990 e 2009, disponibilizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Trigo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul. A análise foi conduzida nas dependências do Departamento de Engenharia Florestal, no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da Universidade Federal Santa Maria/CESNORS, *Campus* de Frederico Westphalen.

O estudo refere-se à região norte do Rio Grande do Sul, o qual apresenta, segundo a classificação de Köppen, clima do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido, com temperatura média anual de 19°C, variando com máxima de 38°C e mínima de 0°C e com estações bem definidas anualmente.

Com base nos dados de umidade relativa (%) e de temperatura (°F) foi determinado o teor de umidade de equilíbrio diário utilizando à equação ajustada por Simpson (1971), conforme a Equação 1.

$$Tu_e = \frac{1800}{W} \left[\frac{KH}{1 - KH} + \frac{K_1KH + 2K_1K_2K^2H^2}{1 + K_1KH + K_1K_2K^2H^2} \right] \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: Tu_e = Teor de umidade de equilíbrio em %; $K = 0.805 + 0.000736(T) - 0.00000273(T^2)$; $K_1 = 6.27 - 0.00938(T) - 0.000303(T^2)$; $K_2 = 1.91 + 0.0407(T) - 0.000293(T^2)$; $W = 349 + 1.29(T) + 0.0135(T^2)$; T = temperatura em graus Celsius; H = umidade relativa/100.

Os valores obtidos foram separados de acordo com as estações do ano: primavera, verão, outono e inverno, sendo considerados como tratamentos 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Posteriormente, foi calculada a média da umidade de equilíbrio em cada estação, totalizando 20 repetições para cada tratamento em estudo. Subsequentemente, foi submetido à construção dos intervalos de confiança para o valor médio do teor de umidade de cada estação (Equação 2).

$$IC_{95\%}(\mu) = \chi - Z_{0,9750} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \chi + Z_{0,9750} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: χ = média; σ = desvio padrão; $Z = 1,96$; n = número de amostras;

Os dados médios de umidade de equilíbrio da madeira foram submetidos à análise de variância por meio do programa estatístico Statgraphics Plus e, no caso de rejeição da hipótese

de igualdade de médias entre tratamentos, ao teste de comparação de médias (Diferença Mínima Significativa – DMS, $\alpha = 5\%$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise estatística (teste T – DMS) do teor de umidade de equilíbrio (Tabela 1) evidenciaram uma variação entre as umidades de equilíbrio da madeira nas diferentes estações do ano.

Tabela 1. Valores médios de umidade de equilíbrio da madeira nas diferentes estações do ano.
Table 1. Average values of equilibrium moisture content of wood in different seasons.

Estação do ano (Tratamento)	Tue (%)	Desvio padrão (%)	CV (%)	IC $_{\mu;95\%}$	Fc
Outono (3)	15,6 a ¹	1,3	8,4	15,03; 16,17	10,68*
Inverno (4)	15,5 a	1,4	9,4	15,84; 16,11	
Verão (2)	14,7 b	1,8	12,2	14,15; 15,44	
Primavera (1)	14,1 b	1,2	8,2	13,55; 14,57	

¹ médias seguidas por mesma letra, na coluna, não diferem pelo teste DMS a um nível de 5% de erro; Tue = Teor de umidade de equilíbrio, em %; CV = coeficiente de variação experimental, em %; IC $_{\mu;95\%}$: intervalo de confiança da média, em %; Fc = valor de F calculado; * = significativo a 5% de probabilidade de erro.

De acordo com a Tabela 1, observa-se que o teor de umidade de equilíbrio mais elevado pertenceu ao outono com 15,6%, não diferindo do inverno, o qual apresentou um teor de 15,5%. Esses, por sua vez, apresentaram diferença em relação aos tratamentos relacionados com a primavera e verão onde, analisando apenas os tratamentos 1 e 2, verificou-se que não houve diferença entre ambos, com um teor de umidade de equilíbrio de 14,1% e 14,7%, respectivamente.

Da mesma forma, é interessante ressaltar que o teor de umidade de equilíbrio com maior valor, obtido no tratamento 3, evidenciou um intervalo de confiança de $15,0\% \geq \mu \geq 16,2\%$ e o mais baixo, referente ao tratamento 1, um intervalo igual a $13,5\% \geq \mu \geq 14,6\%$. Além disso, verifica-se que o coeficiente de variação referente à estação do verão foi o mais elevado, com 12,2%, e pode estar relacionado à desuniformidade das médias da umidade de equilíbrio durante o período de estudo, ou seja, as oscilações de umidade relativa e temperatura.

Os resultados encontrados estão de acordo com os estudos de Martins (2003), onde a média de umidade de equilíbrio da madeira obtida para o Noroeste do Rio Grande do Sul, nos períodos de 1931-60 e 1961-90, foi igual a 14%. Os mesmos autores afirmaram que em várias

regiões do Brasil ocorrem diferenças no teor de umidade de equilíbrio ao longo do ano, como por exemplo, o Centro-Oeste que apresenta variação de 10% a 16%.

Nesse sentido, observa-se a importância do conhecimento da umidade de equilíbrio no local em que a madeira deverá ser usada, pois dependendo das condições climáticas do ambiente, esse teor de umidade pode variar durante o ano. Silva; Oliveira, (2003) relataram que essas informações servem de subsídios para a correta condução do processo de secagem e de utilização final, com intuito de eliminar a ocorrência de possíveis defeitos na madeira.

Martins (2003) salientou que no processamento das toras devem ser consideradas as condições de umidade de equilíbrio, principalmente as médias anuais da região em que a madeira e seus produtos derivados se destinam, de maneira a se obter melhor desempenho desse material em uso e evitar problemas devidos à instabilidade dimensional.

Considerando os resultados obtidos nesse estudo, onde as médias entre outono e inverno e entre primavera e verão não apresentaram diferença estatística, a Figura 1 mostra os valores de teor de umidade de equilíbrio médio em cada ano estudado.

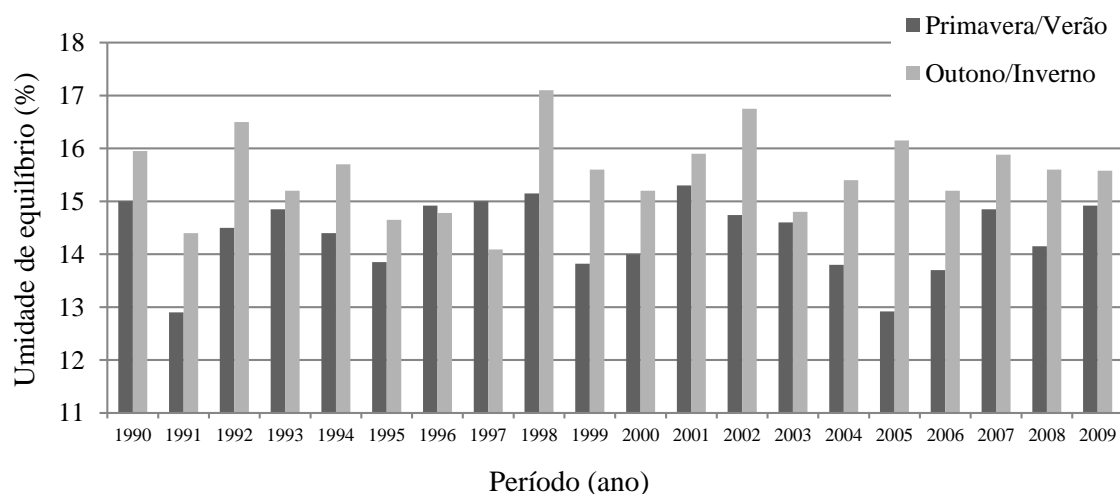


Figura 1. Teor médio da umidade de equilíbrio da madeira para primavera/verão e outono/inverno.

Figure 1. Average content of moisture balance of wood for spring/summer and autumn/winter.

De acordo com a Figura 1, constata-se que na maioria dos anos estudados, o outono/inverno apresentou um teor de umidade de equilíbrio mais elevado e, apenas nos anos de 1996 e 1997, a média foi inferior à primavera/verão.

Além disso, vale ressaltar que a madeira deve ser processada quando se encontra nos valores médios de umidade de equilíbrio estimados. De nada adianta apenas secar a madeira até o valor indicado e depois deixá-la longos períodos exposta a condições ambientais que

podem levar o material a uma umidade diferente da desejada, ocasionando perda de desempenho da peça por possíveis defeitos na mesma (GALVÃO, 1975).

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o teor de umidade de equilíbrio da madeira variou nas estações do ano, com o outono apresentando as condições climáticas que propiciaram a média de umidade de equilíbrio mais elevada e não diferindo do valor médio da estação inverno. Esses, por sua vez, apresentaram diferença em relação à primavera e ao verão. Recomenda-se a análise da umidade de equilíbrio para todo o estado do Rio Grande do Sul, para que se tenha maior embasamento no comportamento dimensional da madeira.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a EMBRAPA Trigo pelo fornecimento dos dados de umidade relativa do ar e de temperatura, o que possibilitou a realização do presente estudo.

6 REFERÊNCIAS

- BERGMAN, R. Drying and Control of Moisture Content. In: BERGMAN, R.; CAI, Z.; CARLL, C.G.; CLAUSEN, C.A.; DIETENBERGER, M.A.; FALK, R.H.; FRIHART, C.R.; GLASS, S.V.; HUNT, C.G.; IBACH, R.E.; KRETSCHMANN, D.E.; RAMMER, D.R.; ROSS, R.J.; STARK, N.M. (Eds.). **Wood handbook: Wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. p.13-1-13-20.
- COSTA, A.F.; VALE, A.T.; GONÇALEZ, J.C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus* sp. (pinus) e *Mimosa Scabrella* Bentham (bracatinga). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n.2, p. 59-70, 2001.
- DURLO, M. A. Relação água-madeira. In: I SEMINÁRIO SOBRE SECAGEM DE MADEIRA. Santa Maria. **Anais...** UFSM, CEPEF/FATEC, 1991.
- 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.
- ELEOTÉRIO, J. R.; SILVA, C. M. K. Ajuste dos parâmetros da isoterma de sorção de Hailwood e Horrobin para madeira. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v.2, n.2, p. 96-108, 2011.
- GALVÃO, A. P. M. Estimativa da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **IPEF**, Piracicaba, v.2, n.11, p. 53-65, 1975.

GALVÃO, A.P.M.; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111p.

GATTO, D. A.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; DURLO, M.A. Qualidade da madeira serrada na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.1, p. 223-233, 2004.

JANKOWSKY, I. P.; GALVÃO, A. P. M. Influência do teor de extrativos na umidade de equilíbrio da madeira. **IPEF**, Piracicaba, v.1, n.18, p. 1-33, jun. 1979.

JANKOWSKY, I. P. Variação sazonal da umidade de equilíbrio para madeira de Pinus. **IPEF**, Piracicaba, v.3, n.31, p. 41-46, 1985.

JANKOWSKY, I. P. **Fundamentos de secagem de madeiras**. Documentos florestais. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 1990. 9p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ J. W. A. **Principles of wood science and technology**. New York: Springer-Verlag, 1968. 592p.

MARTINS, V. A. Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. **Brasil Florestal**, v.22, n.76, p. 29-34, 2003.

SCHULTZ, A. C. P. **Avaliação da colagem e da variação de umidade na produção de painéis de madeira compensada com mistura de espécies**. 2008. 71 p. Monografia (Engenharia Industrial Madeireira/ Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm., em diferentes condições de umidade relativa do ar. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p. 233-239, 2003.

SILVA, J. C.; OLIVEIRA, J. T. S.; XAVIER, B. A.; CASTRO, V. R. Variação da retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, em função da idade e da posição radial no tronco. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.5, p.803-810, 2006.

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

SKAAR, C. **Wood – water relations**. New York: Springer – Verlag, 1988. 283p.

STANGERLIN, D. M. **Avaliação do uso de estufa solar para secagem de madeira serrada de eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; MENDES, L. M.; PINTO, L. V. A. Umidade de equilíbrio da madeira para diferentes condições de temperatura e umidade relativa em câmara de climatização. In: EBRAMEM - ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos, São Paulo. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2000. p.41-41.