INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS
ISSN 0100-3453

Zoneamento da umidade de equilíbrio mensal de painéis e madeira maciça no Brasil

Clayton Alcarde Alvares
Philipe Ricardo Casemiro Soares
Paulo Cesar Sentelhas
Ivaldo Pontes Jankowsky

CIRCULAR TÉCNICA

N° 211 JULHO 2017

http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/

CIRCULAR TÉCNICA IPEF
n. 211, p. 01-13, julho de 2017

Zoneamento da umidade de equilíbrio mensal de painéis e madeira maciça no Brasil

Monthly equilibrium moisture content zones for panels and solid wood in Brazil

Clayton Alcarde Alvares[1], Philipe Ricardo Casemiro Soares[2], Paulo Cesar Sentelhas[3] e Ivaldo Pontes Jankowsky[3]

Resumo: Considerando a crescente demanda nacional por madeira serrada e por painéis a base de madeira, além dos mercados consumidores cada vez mais exigentes, o controle de algumas características do processo produtivo se torna fundamental para a obtenção de produtos de qualidade. Dentre os fatores que mais afetam a qualidade final desses produtos destaca-se a estabilidade dimensional, a qual é afetada pelo processo de secagem da madeira e pelo teor de umidade quando em uso. Tanto a madeira como os produtos derivados tendem a atingir a umidade de equilíbrio higroscópico (UEH), a qual é dependente da temperatura e da umidade relativa do ar. Assim, a determinação da UEH para as diferentes matérias-primas florestais e nas diversas regiões do país é importante para o correto processamento da matéria-prima e para a obtenção de um produto final de qualidade. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi fazer o zoneamento espaço-temporal da UEH mensal de painéis de madeira e da madeira maciça no Brasil. Para isso, utilizou-se o modelo desenvolvido por Nelson (1983) e parametrizado por Wu (1999) para os seguintes materiais: *oriented strand board* (OSB) de folhosa e de conífera, *interior particleboard* (PB), *medium-density fiberboard* (MDF), *hardboard* (HB), *high pressure laminate* (HPL), madeira maciça de folhosas e coníferas. Para a elaboração do zoneamento da UEH foram empregados mapas de umidade relativa e temperatura média do ar de todas as regiões brasileiras. Os mapas da UEH mensais foram elaborados com resolução de 1 km, os quais mostraram que, em geral, as maiores médias da UEH ocorrem no mês de março, enquanto que os menores valores são registrados em agosto. A região Norte apresenta UEH elevada durante todo o ano, sendo a maior registrada no estado do Amazonas (21,9%), enquanto que os menores valores foram observados na região Nordeste, especialmente no Piauí (4,5%). A UEH apresenta elevada variabilidade espaço-temporal no Brasil, ou seja, seu valor é função da localidade, época do ano e tipo de produto, sugerindo às indústrias deste segmento atentarem a esse fato. Finalizando, é apresentado um banco de dados com a estimativa da UEH mensal para os 5563 municípios de todo o país como uma ferramenta para reduzir a incerteza da UEH de painéis de madeira no Brasil.

Palavras-chave: climatologia; tecnologia da madeira; meteorologia florestal; umidade relativa.

Abstract: Considering the growing domestic demand for sawn timber and wood-based panels in Brazil, in addition to increasingly quality requirements by consumer markets, control of some features of the production process becomes essential to obtain quality products. One of the main factors that most affect the final quality of these products is the dimensional stability, which is affected by the drying process of the wood and its moisture content. Both wood and its by-products tend to reach equilibrium moisture content (EMC), which is dependent on air temperature and relative humidity. Thus, EMC determination for the different forest products and the many regions of the country is important for the processing of the raw material and for obtaining a final quality product. The aim of this study was to perform the monthly equilibrium moisture content zones of wood panels in Brazil. The model developed by Nelson (1983) and parameterized by Wu (1999) was used for the following materials: oriented strand board (OSB) of hardwood and conifer, interior particleboard (PB), medium-density fiberboard (MDF), hardboard (HB), high pressure laminate (HPL), and hardwood and coniferous

[1]IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais.
[2]UDESC - Universidade do Estado de Santa Catarina.
[3]Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo – ESALQ/USP.

wood. Relative humidity and average air temperature maps of all Brazilian regions were used for the elaboration of EMC zones. The monthly EMC maps were elaborated with spatial resolution of 1 km, which showed that, in general, the highest EMC averages occur in March, while the lowest values are found in August. Northern Brazil has a high EMC throughout the year, the highest recorded in the state of Amazonas (21.9%), while the lowest values were observed in the Northeast region of Brazil, especially in Piauí state (4.5%). The EMC has high spatial and temporal variability in Brazil, its value is a function of location, time of year and type of product, suggesting to the industries of this segment to pay attention to this fact. Finally, a database with the monthly EMC estimate is presented for all 5563 municipalities across the country as a tool to reduce EMC's uncertainty of wood panels in Brazil.

Keywords: climatology; wood technology; forest meteorology; relative humidity.

INTRODUÇÃO

Em 2015, o segmento brasileiro de painéis de madeira, pisos laminados, painéis compensados e madeira serrada oriundos de árvores plantadas apresentou produção de 30 milhões de metros cúbicos. Dos 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas no país, predominantemente dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, aproximadamente 10% são destinados a esses segmentos industriais, cujas unidades produtoras estão concentradas principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (IBÁ, 2016).

Embora de produção regionalizada, as indústrias comercializam os seus produtos em todo o território nacional, tendo que atender requisitos que garantam a qualidade do produto final. Nesta questão, uma parte fundamental no processo produtivo é a secagem (TURNER, 1996), a qual definirá o teor de umidade da madeira ao final do processo de manufatura. Essa atividade permite, entre outros fatores, a redução da movimentação dimensional e da incidência de defeitos de secagem nas peças, bem como melhoria em suas propriedades mecânicas (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

Contudo, a madeira é um material higroscópico, cuja capacidade de trocar umidade com o ar tem como resultante a mudança de suas dimensões. Considerando que a variação dimensional está diretamente relacionada com a variação no teor de umidade do material, uma das variáveis mais importantes para prever seu comportamento quando em uso é a sua umidade de equilíbrio higroscópico (UEH), na qual ocorre o equilíbrio dinâmico com a umidade relativa do ar (JANKOWSKY, 1990). A UEH da madeira é influenciada pela temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica (LAM et al., 2012), bem como pelo histórico de exposição do material, o tipo de produto, a espécie e os extrativos na madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985). A relação da UEH com a temperatura e umidade relativa do ar é conhecida como isoterma de sorção, definida por parâmetros ligados ao processo de sorção e o tipo de produto. Há diversas teorias e parametrizações de equações para a estimação da UEH da madeira, sendo que resultados de análises comparativas dessas podem ser encontrados em Mendes e Arce (2003), Mendes et al. (2014) e Silva et al. (2005; 2006).

Visando melhorar a qualidade do produto final, diversos estudos vêm sendo realizados para determinar a UEH da madeira para diferentes espécies e produtos e principalmente para as condições climáticas de algumas cidades e regiões brasileiras (GALVÃO, 1975; 1981; JANKOWSKY et al., 1986; JESUS, 1989; LIMA et al., 1995; LIMA; MENDES, 1995; SILVA et al., 2006; FIORESI et al., 2014; SOUZA et al., 2016). De acordo com esses autores, é unânime a conclusão de que a UEH da madeira é muito variável ao longo do ano e entre as localidades estudadas. Neste sentido, e considerando que no Brasil a UEH é desconhecida para a maioria das regiões, Martins et al. (2003) realizaram um trabalho mais abrangente ao mapear a umidade de equilíbrio de madeira maciça para todo o território nacional.

No entanto, estudos sobre a UEH de painéis de madeira são ainda escassos no Brasil. Silva et al. (2005) sugeriram realizar um mapeamento nacional dos teores de UEH de painéis de madeira, de modo a subsidiar a implantação de novas unidades produtoras de madeira serrada, painéis compensados e reconstituídos de madeira no país. Assim, o presente estudo teve como objetivo mapear a UEH mensal de painéis e madeira maciça em todo o Brasil, visando orientar e apoiar o setor madeireiro na busca da melhor utilização da madeira e produtos dela derivados.

MATERIAL E MÉTODOS

A UEH de painéis de madeira e de madeira maciça foi estimada com base na equação de Nelson (1983). Este pesquisador desenvolveu um modelo, baseado na energia livre de Gibbs, para descrever o comportamento de sorção de materiais celulósicos. O modelo de Nelson está descrito na equação abaixo:

$$UEH = M_v \left\{1 - \frac{1}{A}\ln\left[\left(-\frac{R \times T}{W_w}\right)\ln\left(\frac{UR}{100}\right)\right]\right\} \qquad \text{(Eq. 1)}$$

em que: UEH = umidade de equilíbrio higroscópico (%), M_v = constante para dessorção (%), A = logaritmo natural de energia livre de Gibbs por grama de água absorvida com a umidade relativa próximo de zero, R = constante universal dos gases (1,9858 cal K^{-1} mol^{-1}), T = temperatura absoluta (K), W_w = peso molecular da água (18 mol^{-1}), UR = umidade relativa do ar (%).

O modelo de Nelson foi parametrizado por Wu (1999) para diferentes materiais, os quais são apresentados na Tabela 1. Este modelo e suas parametrizações foram usados neste trabalho, pois segundo Silva et al. (2005; 2006), o modelo de Nelson foi eficiente para estimar a UEH de painéis de madeira para as condições climáticas brasileiras. Assim, foi estimada a umidade de equilíbrio para os seguintes painéis: OSB (*Oriented Strand Board*) de folhosa e de conífera, PB = *interior particleboard* (aglomerado interior), MDF (*medium-density fiberboard*), HB = *hardboard* (chapa dura), HPL = *high pressure laminate*. Além disso, determinou-se a UEH da madeira maciça de folhosas e coníferas. Maiores informações sobre estes produtos são encontradas em Wu (1999), Iwakiri (2005), Mattos et al. (2008).

Tabela 1. Lista e características dos materiais usados no estudo e coeficientes obtidos por Wu (1999) através de análise de regressão utilizando o modelo de Nelson (1983).
Table 1. Characteristics of the studied materials and its coefficients obtained by Wu (1999) through the regression model of Nelson (1983).

Material	Espessura	Densidade	Adsorção		Dessorção		Histerese
	mm	g cm^{-3}	A	Mv	A	Mv	
			cal g^{-1}	%	cal g^{-1}	%	
OSB de folhosa[a]							
Parede	11,2	0,59	4,45	22,20	4,79	27,49	0,808
Piso interior	19,1	0,54	4,49	22,94	4,89	28,28	0,811
OSB de conífera[b]							
Parede	10,9	0,62	4,60	23,77	4,85	29,00	0,822
Piso interior	15,2	0,63	4,64	23,22	5,10	27,58	0,842
PB	19,1	0,64	5,18	20,02	5,11	25,93	0,770
MDF	6,4	0,65	4,68	19,13	4,94	24,94	0,767
HB	3,3	1,10	4,54	15,95	4,97	20,73	0,769
HPL	1,1	1,32	5,15	10,05	5,19	12,68	0,793
HPL backer	0,5	1,20	5,27	11,52	5,25	13,61	0,845
Madeira maciça							
Folhosa[a]	8,0	0,41	4,97	22,90	4,91	28,28	0,809
Conífera[b]	8,0	0,51	5,11	22,66	5,17	27,60	0,821

Fonte: Wu (1999). OSB = oriented strand board; PB = interior particleboard (aglomerado interior); MDF = medium-density fiberboard; HB = hardboard (chapa dura); HPL = high pressure laminate; HPL backer = high pressure laminate backer; a = *Populus* sp.; b = *Pinus* sp.

Para estimar a UEH de painéis, mapas mensais de temperatura média do ar (ALVARES et al., 2013a) e de umidade relativa do ar (ALVARES et al., 2015) do Brasil foram utilizados. Esses autores compilaram dados mensais de normais climatológicas da temperatura e da umidade relativa do ar das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, Instituto Agronômico de Campinas, Instituto Agronômico do Paraná, Sistema Meteorológico do Paraná e Departamento

Nacional de Obras Contra a Secas. Os mapas mensais de temperatura média do ar foram obtidos com base nos modelos de regressão apresentados por Alvares et al. (2013a) (Figura 1). Os mapas mensais de umidade relativa do ar foram obtidos por interpolação tipo krigagem ordinária, os quais foram fornecidos por Alvares et al. (2015) (Figura 2).

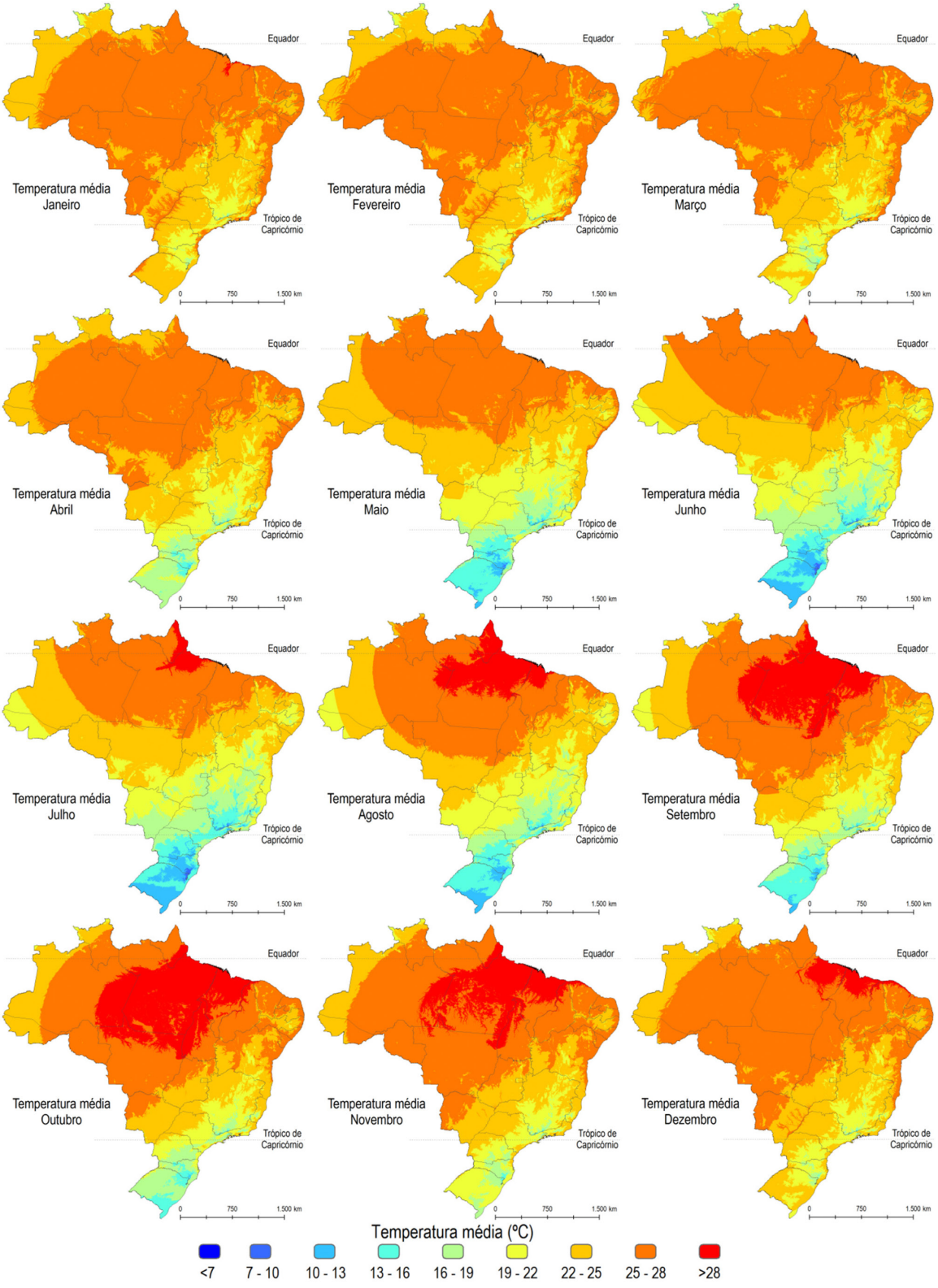

Figura 1. Mapas mensais de temperatura média do ar no Brasil. Modificado de Alvares et al. (2013).
Figure 1. Monthly average air temperature maps in Brazil. Modified from Alvares et al. (2013).

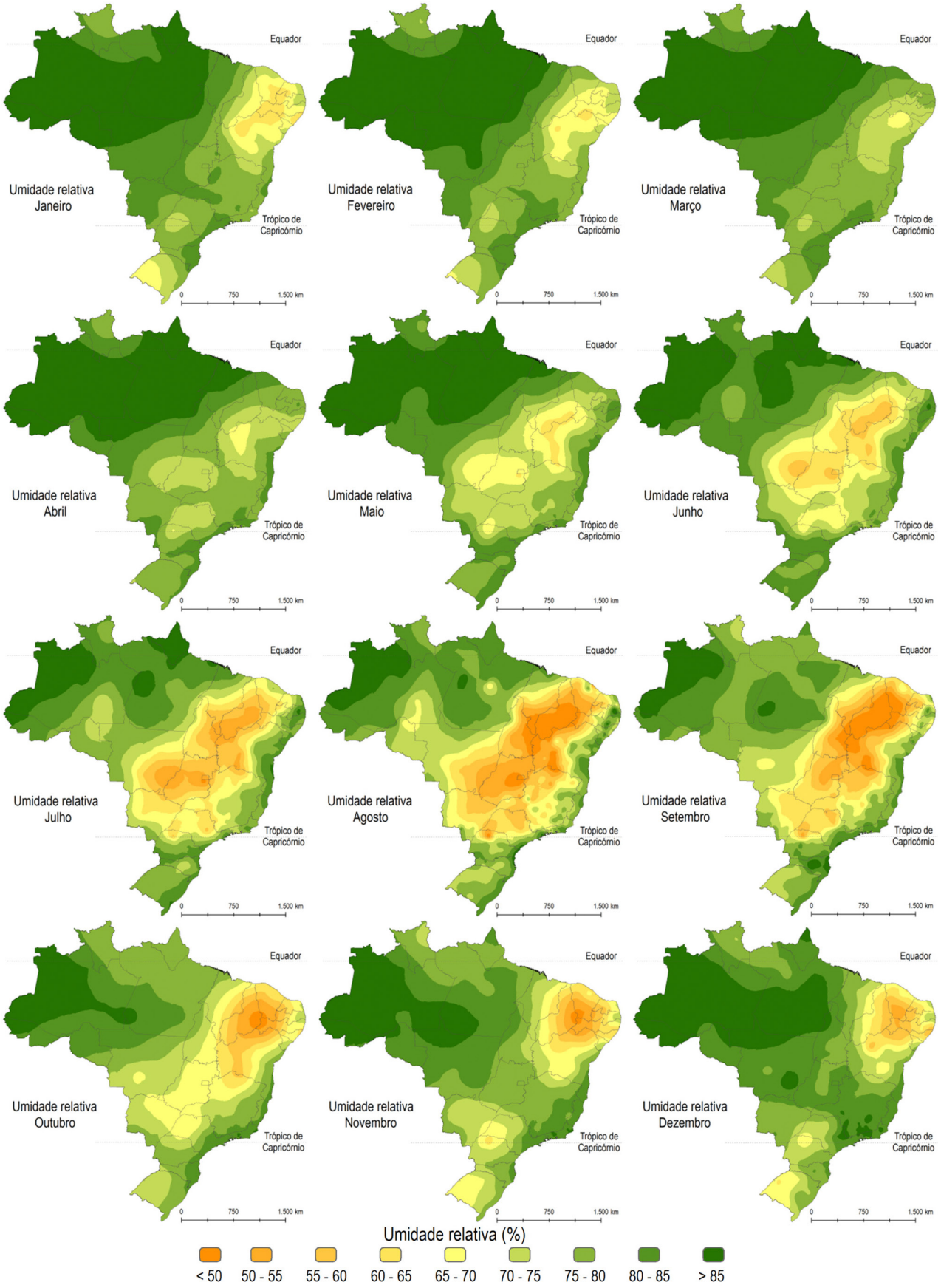

Figura 2. Mapas mensais de umidade relativa no Brasil. Modificado de Alvares et al. (2015).
Figure 2. Monthly relative humidity maps in Brazil. Modified from Alvares et al. (2015).

Usando um sistema de informação geográfica (SIG), o modelo de Nelson foi implementado considerando-se como as variáveis climáticas de entrada os mapas mensais de temperatura média do ar e umidade relativa média do ar e os coeficientes específicos de cada material estudado (Tabela 2). Todos os mapas climáticos mensais de entrada e os de UEH mensais de saída do modelo foram elaborados com resolução espacial de 1 km (1 pixel com 1 km^2). Foram produzidos 132 mapas de umidade de equilíbrio, considerando-se os 11 painéis de madeira estudados na escala mensal. Desta forma, não seria possível apresentar no presente estudo todos estes mapas. Assim, foi elaborado um mapa representativo de cada mês e estratificado usando a função quantil do SIG em oito classes (percentil 12,5% ou octil). A classificação quantil atribui o mesmo número de pixels para cada classe. Dado que o único fator de variação de cada mês entre os painéis de madeira são os coeficientes do modelo de Nelson e que as variáveis meteorológicas de entrada são as mesmas, um mapa octil de UEH de um determinado mês terá a mesma aparência para todos os demais painéis de madeira do referido mês, porém, com intervalos de classes diferentes de material estudado. Portanto, a estratégia foi produzir apenas 12 mapas, os quais podem ser interpretados segundo uma legenda expandida com 1056 intervalos de classes (11 produtos x 8 classes x 12 meses).

Tabela 2. Legenda expandida da Figura 3. Classes de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos materiais analisados no Brasil.

Table 2. Expanded legend of Figure 3. Classes of equilibrium moisture content (%) of studied materials in Brazil.

Mês	Classe	OSB Folhosa		OSB Conífera		PB	MDF	HB	HPL	HPL BCK	Madeira maciça	
		Parede	Piso interior	Parede	Piso interior						Folhosa	Conífera
Janeiro	1	11.4 - 12.6	12.0 - 12.9	12.2 - 13.5	12.4 - 13.5	11.7 - 12.7	10.8 - 11.8	9.0 - 9.9	5.8 - 6.3	6.3 - 6.9	12.1 - 13.3	12.6 - 13.7
	2	12.6 - 13.8	12.9 - 13.8	13.5 - 14.7	13.5 - 14.6	12.7 - 13.8	11.8 - 12.9	9.9 - 10.7	6.3 - 6.8	6.9 - 7.4	13.3 - 14.5	13.7 - 14.8
	3	13.8 - 14.9	13.8 - 14.6	14.7 - 15.9	14.6 - 15.7	13.8 - 14.8	12.9 - 13.9	10.7 - 11.6	6.8 - 7.3	7.4 - 7.9	14.5 - 15.7	14.8 - 15.9
	4	14.9 - 16.1	14.6 - 15.5	15.9 - 17.1	15.7 - 16.9	14.8 - 15.9	13.9 - 14.9	11.6 - 12.5	7.3 - 7.8	7.9 - 8.5	15.7 - 16.9	15.9 - 17.0
	5	16.1 - 17.3	15.5 - 16.3	17.1 - 18.4	16.9 - 18.0	15.9 - 16.9	14.9 - 16.0	12.5 - 13.3	7.8 - 8.3	8.5 - 9.0	16.9 - 18.0	17.0 - 18.1
	6	17.3 - 18.5	16.3 - 17.2	18.4 - 19.6	18.0 - 19.1	16.9 - 18.0	16.0 - 17.0	13.3 - 14.2	8.3 - 8.8	9.0 - 9.5	18.0 - 19.2	18.1 - 19.2
	7	18.5 - 19.6	17.2 - 18.0	19.6 - 20.8	19.1 - 20.2	18.0 - 19.0	17.0 - 18.0	14.2 - 15.0	8.8 - 9.3	9.5 - 10.0	19.2 - 20.4	19.2 - 20.3
	8	19.6 - 20.8	18.0 - 18.9	20.8 - 22.0	20.2 - 21.3	19.0 - 20.0	18.0 - 19.1	15.0 - 15.9	9.3 - 9.8	10. - 10.6	20.4 - 21.6	20.3 - 21.4
Fevereiro	1	12.0 - 13.2	12.6 - 13.4	12.8 - 14.1	13.0 - 14.1	12.2 - 13.2	11.3 - 12.3	9.5 - 10.3	6.1 - 6.6	6.6 - 7.1	12.7 - 13.9	13.2 - 14.3
	2	13.2 - 14.3	13.4 - 14.2	14.1 - 15.3	14.1 - 15.2	13.2 - 14.1	12.3 - 13.4	10.3 - 11.2	6.6 - 7.1	7.1 - 7.7	13.9 - 15.1	14.3 - 15.4
	3	14.3 - 15.5	14.2 - 15.0	15.3 - 16.5	15.2 - 16.3	14.1 - 15.1	13.4 - 14.4	11.2 - 12.0	7.1 - 7.6	7.7 - 8.2	15.1 - 16.3	15.4 - 16.5
	4	15.5 - 16.7	15.0 - 15.8	16.5 - 17.7	16.3 - 17.4	15.1 - 16.1	14.4 - 15.4	12.0 - 12.9	7.6 - 8.1	8.2 - 8.7	16.3 - 17.4	16.5 - 17.6
	5	16.7 - 17.9	15.8 - 16.5	17.7 - 19.0	17.4 - 18.5	16.1 - 17.1	15.4 - 16.5	12.9 - 13.7	8.1 - 8.6	8.7 - 9.3	17.4 - 18.6	17.6 - 18.7
	6	17.9 - 19.0	16.5 - 17.3	19.0 - 20.2	18.5 - 19.6	17.1 - 18.1	16.5 - 17.5	13.7 - 14.6	8.6 - 9.1	9.3 - 9.8	18.6 - 19.8	18.7 - 19.7
	7	19.0 - 20.2	17.3 - 18.1	20.2 - 21.4	19.6 - 20.7	18.1 - 19.1	17.5 - 18.6	14.6 - 15.5	9.1 - 9.6	9.8 - 10.3	19.8 - 21.0	19.7 - 20.8
	8	20.2 - 21.4	18.1 - 18.9	21.4 - 22.7	20.7 - 21.9	19.1 - 20.0	18.6 - 19.6	15.5 - 16.3	9.6 - 10.1	10.3 - 10.9	21.0 - 22.2	20.8 - 21.9
Março	1	13.0 - 13.9	13.7 - 14.4	13.9 - 14.9	14.0 - 14.8	13.1 - 13.9	12.2 - 13.0	10.2 - 10.9	6.5 - 6.9	7.1 - 7.5	13.8 - 14.7	14.1 - 15.0
	2	13.9 - 14.8	14.4 - 15.0	14.9 - 15.8	14.8 - 15.7	13.9 - 14.7	13.0 - 13.8	10.9 - 11.5	6.9 - 7.3	7.5 - 7.9	14.7 - 15.6	15.0 - 15.8
	3	14.8 - 15.8	15.0 - 15.6	15.8 - 16.8	15.7 - 16.5	14.7 - 15.6	13.8 - 14.6	11.5 - 12.2	7.3 - 7.7	7.9 - 8.3	15.6 - 16.5	15.8 - 16.7
	4	15.8 - 16.7	15.6 - 16.3	16.8 - 17.7	16.5 - 17.4	15.6 - 16.4	14.6 - 15.4	12.2 - 12.9	7.7 - 8.1	8.3 - 8.7	16.5 - 17.4	16.7 - 17.5
	5	16.7 - 17.6	16.3 - 16.9	17.7 - 18.7	17.4 - 18.2	16.4 - 17.2	15.4 - 16.2	12.9 - 13.5	8.1 - 8.5	8.7 - 9.1	17.4 - 18.3	17.5 - 18.4
	6	17.6 - 18.5	16.9 - 17.6	18.7 - 19.6	18.2 - 19.1	17.2 - 18.0	16.2 - 17.0	13.5 - 14.2	8.5 - 8.8	9.1 - 9.5	18.3 - 19.2	18.4 - 19.2
	7	18.5 - 19.4	17.6 - 18.2	19.6 - 20.6	19.1 - 19.9	18.0 - 18.8	17.0 - 17.8	14.2 - 14.8	8.8 - 9.2	9.5 - 9.9	19.2 - 20.1	19.2 - 20.1
	8	19.4 - 20.3	18.2 - 18.9	20.6 - 21.5	19.9 - 20.8	18.8 - 19.6	17.8 - 18.6	14.8 - 15.5	9.2 - 9.6	9.9 - 10.4	20.1 - 21.1	20.1 - 20.9
Abril	1	12.8 - 13.8	13.5 - 14.2	13.7 - 14.7	13.8 - 14.7	13.0 - 13.8	12.0 - 12.9	10.1 - 10.8	6.4 - 6.8	7.0 - 7.4	14.8 - 15.8	14.0 - 14.9
	2	13.8 - 14.8	14.2 - 14.9	14.7 - 15.7	14.7 - 15.6	13.8 - 14.7	12.9 - 13.7	10.8 - 11.5	6.8 - 7.3	7.4 - 7.9	15.8 - 16.7	14.9 - 15.7
	3	14.8 - 15.8	14.9 - 15.5	15.7 - 16.7	15.6 - 16.5	14.7 - 15.5	13.7 - 14.6	11.5 - 12.2	7.3 - 7.7	7.9 - 8.3	16.7 - 17.7	15.7 - 16.6
	4	15.8 - 16.7	15.5 - 16.2	16.7 - 17.7	16.5 - 17.4	15.5 - 16.4	14.6 - 15.4	12.2 - 12.9	7.7 - 8.1	8.3 - 8.7	17.7 - 18.7	16.6 - 17.5
	5	16.7 - 17.6	16.2 - 16.9	17.7 - 18.7	17.4 - 18.3	16.4 - 17.2	15.4 - 16.3	12.9 - 13.6	8.1 - 8.5	8.7 - 9.2	18.7 - 19.7	17.5 - 18.4
	6	17.6 - 18.6	16.9 - 17.6	18.7 - 19.7	18.3 - 19.2	17.2 - 18.1	16.3 - 17.1	13.6 - 14.3	8.5 - 8.9	9.2 - 9.6	19.7 - 20.6	18.4 - 19.3
	7	18.6 - 19.6	17.6 - 18.2	19.7 - 20.7	19.2 - 20.1	18.1 - 18.9	17.1 - 18.0	14.3 - 15.0	8.9 - 9.3	9.6 - 10.0	20.6 - 21.6	19.3 - 20.2
	8	19.6 - 20.5	18.2 - 18.9	20.7 - 21.7	20.1 - 21	18.9 - 19.8	18.0 - 18.8	15.0 - 15.7	9.3 - 9.7	10.0 - 10.5	21.6 - 22.6	20.2 - 21.1

Tabela 2 - Continuação. Legenda expandida da Figura 3. Classes de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos materiais analisados no Brasil.

Table 2 - Continuation. Expanded legend of Figure 3. Classes of equilibrium moisture content (%) of studied materials in Brazil.

Mês	Classe	OSB Folhosa		OSB Conífera		PB	MDF	HB	HPL	HPL BCK	Madeira maciça	
		Parede	Piso interior	Parede	Piso interior						Folhosa	Conífera
Maio	1	11.5 - 12.6	12.1 - 13.0	12.3 - 13.5	12.5 - 13.6	11.8 - 12.8	10.8 - 11.8	9.1 - 9.9	5.9 - 6.4	6.4 - 6.9	13.4 - 14.6	12.7 - 13.8
	2	12.6 - 13.8	13.0 - 13.8	13.5 - 14.8	13.6 - 14.7	12.8 - 13.8	11.8 - 12.9	9.9 - 10.8	6.4 - 6.9	6.9 - 7.4	14.6 - 15.8	13.8 - 14.9
	3	13.8 - 15.0	13.8 - 14.7	14.8 - 16.0	14.7 - 15.8	13.8 - 14.9	12.9 - 13.9	10.8 - 11.6	6.9 - 7.4	7.4 - 8.0	15.8 - 17.0	14.9 - 16.0
	4	15.0 - 16.2	14.7 - 15.5	16.0 - 17.2	15.8 - 16.9	14.9 - 15.9	13.9 - 15.0	11.6 - 12.5	7.4 - 7.9	8.0 - 8.5	17.0 - 18.2	16.0 - 17.1
	5	16.2 - 17.3	15.5 - 16.4	17.2 - 18.4	16.9 - 18.0	15.9 - 16.9	15.0 - 16.0	12.5 - 13.4	7.9 - 8.4	8.5 - 9.0	18.2 - 19.4	17.1 - 18.2
	6	17.3 - 18.5	16.4 - 17.2	18.4 - 19.7	18.0 - 19.1	16.9 - 17.9	16.0 - 17.0	13.4 - 14.2	8.4 - 8.9	9.0 - 9.5	19.4 - 20.5	18.2 - 19.3
	7	18.5 - 19.7	17.2 - 18.1	19.7 - 20.9	19.1 - 20.2	17.9 - 19.0	17.0 - 18.1	14.2 - 15.1	8.9 - 9.4	9.5 - 10.0	20.5 - 21.7	19.3 - 20.3
	8	19.7 - 20.9	18.1 - 18.9	20.9 - 22.1	20.2 - 21.3	19.0 - 20.0	18.1 - 19.1	15.1 - 15.9	9.4 - 9.9	10.0 - 10.6	21.7 - 22.9	20.3 - 21.4
Junho	1	10.6 - 11.8	11.2 - 12.1	11.4 - 12.7	11.6 - 12.8	11.0 - 12.1	10.1 - 11.2	8.4 - 9.3	5.5 - 6.0	6.0 - 6.5	12.5 - 13.8	11.9 - 13.0
	2	11.8 - 13.1	12.1 - 13.1	12.7 - 14.0	12.8 - 14.0	12.1 - 13.2	11.2 - 12.3	9.3 - 10.3	6.0 - 6.5	6.5 - 7.1	13.8 - 15.1	13.0 - 14.2
	3	13.1 - 14.3	13.1 - 14.1	14.0 - 15.3	14.0 - 15.2	13.2 - 14.3	12.3 - 13.4	10.3 - 11.2	6.5 - 7.1	7.1 - 7.7	15.1 - 16.3	14.2 - 15.4
	4	14.3 - 15.6	14.1 - 15.1	15.3 - 16.6	15.2 - 16.4	14.3 - 15.4	13.4 - 14.5	11.2 - 12.1	7.1 - 7.6	7.7 - 8.2	16.3 - 17.6	15.4 - 16.5
	5	15.6 - 16.8	15.1 - 16.0	16.6 - 17.9	16.4 - 17.6	15.4 - 16.5	14.5 - 15.6	12.1 - 13.0	7.6 - 8.2	8.2 - 8.8	17.6 - 18.9	16.5 - 17.7
	6	16.8 - 18.1	16.0 - 17.0	17.9 - 19.2	17.6 - 18.7	16.5 - 17.6	15.6 - 16.7	13.0 - 13.9	8.2 - 8.7	8.8 - 9.4	18.9 - 20.1	17.7 - 18.9
	7	18.1 - 19.4	17.0 - 18.0	19.2 - 20.5	18.7 - 19.0	17.6 - 18.7	16.7 - 17.8	13.9 - 14.8	8.7 - 9.2	9.4 - 9.9	20.1 - 21.4	18.9 - 20.0
	8	19.4 - 20.6	18.0 - 18.9	20.5 - 21.8	19.0 - 21.1	18.7 - 19.8	17.8 - 18.9	14.8 - 15.7	9.2 - 9.8	9.9 - 10.5	21.4 - 22.7	20.0 - 21.2
Julho	1	9.2 - 10.6	9.8 - 11.0	9.9 - 11.4	10.3 - 11.7	9.8 - 11.0	8.8 - 10.0	7.4 - 8.4	4.9 - 5.5	5.3 - 6.0	11.1 - 12.5	10.6 - 11.9
	2	10.6 - 12.0	11.0 - 12.1	11.4 - 12.9	11.7 - 13.0	11.0 - 12.2	10.0 - 11.3	8.4 - 9.5	5.5 - 6.1	6.0 - 6.6	12.5 - 14.0	11.9 - 13.2
	3	12.0 - 13.4	12.1 - 13.2	12.9 - 14.3	13.0 - 14.3	12.2 - 13.5	11.3 - 12.5	9.5 - 10.5	6.1 - 6.7	6.6 - 7.2	14.0 - 15.4	13.2 - 14.5
	4	13.4 - 14.8	13.2 - 14.4	14.3 - 15.8	14.3 - 16.6	13.5 - 14.7	12.5 - 13.8	10.5 - 11.5	6.7 - 7.3	7.2 - 7.9	15.4 - 16.8	14.5 - 15.8
	5	14.8 - 16.2	14.4 - 15.5	15.8 - 17.2	16.6 - 16.9	14.7 - 15.9	13.8 - 15.0	11.5 - 12.5	7.3 - 7.9	7.9 - 8.5	16.8 - 18.2	15.8 - 17.1
	6	16.2 - 17.6	15.5 - 16.6	17.2 - 18.7	16.9 - 18.3	15.9 - 17.2	15.0 - 16.2	12.5 - 13.5	7.9 - 8.5	8.5 - 9.1	18.2 - 19.6	17.1 - 18.4
	7	17.6 - 19.0	16.6 - 17.7	18.7 - 20.1	18.3 - 19.6	17.2 - 18.4	16.2 - 17.5	13.5 - 14.5	8.5 - 9.1	9.1 - 9.8	19.6 - 21.0	18.4 - 19.7
	8	19.0 - 20.4	17.7 - 18.9	20.1 - 21.6	19.6 - 20.9	18.4 - 19.7	17.5 - 18.7	14.5 - 15.6	9.1 - 9.7	9.8 - 10.4	21.0 - 22.4	19.7 - 21.0
Agosto	1	7.7 - 9.2	8.3 - 9.7	8.4 - 10.0	8.9 - 10.4	8.4 - 9.8	7.5 - 8.9	6.3 - 7.5	4.3 - 4.9	4.7 - 5.4	9.6 - 11.2	9.2 - 10.6
	2	9.2 - 10.8	9.7 - 11.0	10.0 - 11.6	10.4 - 11.8	9.8 - 11.1	8.9 - 10.2	7.5 - 8.6	4.9 - 5.6	5.4 - 6.0	11.2 - 12.7	10.6 - 12.0
	3	10.8 - 12.3	11.0 - 12.3	11.6 - 13.2	11.8 - 13.3	11.1 - 12.5	10.2 - 11.6	8.6 - 9.7	5.6 - 6.2	6.0 - 6.7	12.7 - 14.3	12.0 - 13.5
	4	12.3 - 13.8	12.3 - 13.6	13.2 - 14.8	13.3 - 14.7	12.5 - 13.9	11.6 - 12.9	9.7 - 10.8	6.2 - 6.9	6.7 - 7.4	14.3 - 15.8	13.5 - 14.9
	5	13.8 - 15.4	13.6 - 14.9	14.8 - 16.6	14.7 - 16.1	13.9 - 15.2	12.9 - 14.3	10.8 - 11.9	6.9 - 7.5	7.4 - 8.1	15.8 - 17.4	14.9 - 16.3
	6	15.4 - 16.9	14.9 - 16.3	16.6 - 18.0	16.1 - 17.6	15.2 - 16.6	14.3 - 15.6	11.9 - 13	7.5 - 8.2	8.1 - 8.8	17.4 - 18.9	16.3 - 17.7
	7	16.9 - 18.4	16.3 - 17.6	18.0 - 19.6	17.6 - 19.0	16.6 - 17.9	15.6 - 17.0	13 - 14.1	8.2 - 8.8	8.8 - 9.5	18.9 - 20.4	17.7 - 19.2
	8	18.4 - 20.0	17.6 - 18.9	19.6 - 21.2	19.0 - 20.5	17.9 - 19.3	17.0 - 18.3	14.1 - 15.3	8.8 - 9.5	9.5 - 10.2	20.4 - 22.0	19.2 - 20.6
Setembro	1	8.3 - 9.6	8.9 - 10.2	9.0 - 10.4	9.5 - 10.8	8.9 - 10.1	8.0 - 9.2	6.8 - 7.8	4.5 - 5.1	4.9 - 5.5	10.2 - 11.5	9.7 - 10.9
	2	9.6 - 10.9	10.2 - 11.4	10.4 - 11.8	10.8 - 12.1	10.1 - 11.4	9.2 - 10.4	7.8 - 8.8	5.1 - 5.6	5.5 - 6.1	11.5 - 12.9	10.9 - 12.2
	3	10.9 - 12.2	11.4 - 12.7	11.8 - 13.1	12.1 - 13.4	11.4 - 12.6	10.4 - 11.5	8.8 - 9.8	5.6 - 6.2	6.1 - 6.7	12.9 - 14.2	12.2 - 13.4
	4	12.2 - 13.6	12.7 - 13.9	13.1 - 14.5	13.4 - 14.7	12.6 - 13.8	11.5 - 12.7	9.8 - 10.8	6.2 - 6.7	6.7 - 7.3	14.2 - 15.6	13.4 - 14.6
	5	13.6 - 14.9	13.9 - 14.1	14.5 - 15.9	14.7 - 16.0	13.8 - 15.0	12.7 - 13.9	10.8 - 11.8	6.7 - 7.3	7.3 - 7.9	15.6 - 16.9	14.6 - 15.9
	6	14.9 - 16.2	14.1 - 16.4	15.9 - 17.3	16.0 - 17.3	15.0 - 16.2	13.9 - 15.0	11.8 - 12.8	7.3 - 7.9	7.9 - 8.5	16.9 - 18.2	15.9 - 17.1
	7	16.2 - 17.5	16.4 - 17.6	17.3 - 18.7	17.3 - 18.6	16.2 - 17.4	15.0 - 16.2	12.8 - 13.8	7.9 - 8.4	8.5 - 9.1	18.2 - 19.6	17.1 - 18.3
	8	17.5 - 18.8	17.6 - 18.9	18.7 - 20.1	18.6 - 19.9	17.4 - 18.6	16.2 - 17.4	13.8 - 14.8	8.4 - 9.0	9.1 - 9.7	19.6 - 20.9	18.3 - 19.6

Tabela 2 - Continuação. Legenda expandida da Figura 3. Classes de umidade de equilíbrio higroscópico (%) dos materiais analisados no Brasil.

Table 2 - Continuation. Expanded legend of Figure 3. Classes of equilibrium moisture content (%) of studied materials in Brazil.

Mês	Classe	OSB Folhosa		OSB Conífera		PB	MDF	HB	HPL	HPL BCK	Madeira maciça	
		Parede	Piso interior	Parede	Piso interior						Folhosa	Conífera
Outubro	1	9.2 - 10.4	9.8 - 11.0	9.9 - 11.2	10.3 - 11.5	9.8 - 10.8	8.8 - 9.9	7.4 - 8.3	4.9 - 5.4	5.3 - 5.9	11.1 - 12.4	10.6 - 11.7
	2	10.4 - 11.6	11.0 - 12.1	11.2 - 12.5	11.5 - 12.6	10.8 - 11.9	9.9 - 11	8.3 - 9.2	5.4 - 5.9	5.9 - 6.4	12.4 - 13.6	11.7 - 12.9
	3	11.6 - 12.8	12.1 - 13.2	12.5 - 13.7	12.6 - 13.8	11.9 - 13.0	11 - 12.1	9.2 - 10.1	5.9 - 6.4	6.4 - 7.0	13.6 - 14.8	12.9 - 14.0
	4	12.8 - 14.0	13.2 - 14.4	13.7 - 15.0	13.8 - 14.9	13.0 - 14.1	12.1 - 13.1	10.1 - 11.0	6.4 - 7.0	7.0 - 7.6	14.8 - 16.1	14.0 - 15.1
	5	14.0 - 15.2	14.4 - 15.5	15.0 - 16.2	14.9 - 16.1	14.1 - 15.2	13.1 - 14.2	11.0 - 11.9	7.0 - 7.5	7.6 - 8.1	16.1 - 17.3	15.1 - 16.3
	6	15.2 - 16.5	15.5 - 16.6	16.2 - 17.5	16.1 - 17.2	15.2 - 16.2	14.2 - 15.3	11.9 - 12.8	7.5 - 8.0	8.1 - 8.7	17.3 - 18.5	16.3 - 17.4
	7	16.5 - 17.7	16.6 - 17.8	17.5 - 18.8	17.2 - 18.4	16.2 - 17.3	15.3 - 16.4	12.8 - 13.6	8.0 - 8.5	8.7 - 9.2	18.5 - 19.8	17.4 - 18.5
	8	17.7 - 18.9	17.8 - 18.9	18.8 - 20.0	18.4 - 19.5	17.3 - 18.4	16.4 - 17.4	13.6 - 14.5	8.5 - 9.0	9.2 - 9.8	19.8 - 21.0	18.5 - 16.7
Novembro	1	9.3 - 10.5	10.0 - 11.0	10.0 - 11.3	10.5 - 11.6	9.9 - 11.0	8.9 - 10.1	7.5 - 8.5	5.0 - 5.5	5.4 - 6.0	11.3 - 12.8	10.7 - 11.9
	2	10.5 - 11.7	11.0 - 12.2	11.3 - 12.6	11.6 - 12.8	11.0 - 12.1	10.1 - 11.2	8.5 - 9.4	5.5 - 6.0	6.0 - 6.6	12.8 - 14.3	11.9 - 13.1
	3	11.7 - 12.9	12.2 - 13.3	12.6 - 13.8	12.8 - 14.0	12.1 - 13.3	11.2 - 12.4	9.4 - 10.4	6.0 - 6.6	6.6 - 7.2	14.3 - 15.5	13.1 - 14.3
	4	12.9 - 14.1	13.3 - 14.4	13.8 - 15.0	14.0 - 15.2	13.3 - 14.5	12.4 - 13.5	10.4 - 11.3	6.6 - 7.2	7.2 - 7.8	15.5 - 16.5	14.3 - 15.5
	5	14.1 - 15.3	14.4 - 15.5	15.0 - 16.3	15.2 - 16.4	14.5 - 15.6	13.5 - 14.7	11.3 - 12.2	7.2 - 7.7	7.8 - 8.3	16.5 - 18.3	15.5 - 16.7
	6	15.3 - 16.5	15.5 - 16.7	16.3 - 17.5	16.4 - 17.6	15.6 - 16.7	14.7 - 15.8	12.2 - 13.2	7.7 - 8.3	8.3 - 8.9	18.3 - 19.3	16.7 - 17.9
	7	16.5 - 17.7	16.7 - 17.8	17.5 - 18.8	17.6 - 18.8	16.7 - 17.9	15.8 - 16.9	13.2 - 14.1	8.3 - 8.8	8.9 - 9.5	19.3 - 20.3	17.9 - 19.1
	8	17.7 - 18.9	17.8 - 18.9	18.8 - 20.0	18.8 - 20.0	17.9 - 19.0	16.9 - 18.1	14.1 - 15.1	8.8 - 9.4	9.5 - 10.1	20.3 - 21.7	19.1 - 20.3
Dezembro	1	9.9 - 11.0	10.6 - 11.6	10.7 - 11.9	11.0 - 12.1	10.4 - 11.6	9.5 - 10.7	7.9 - 8.9	5.2 - 5.8	5.7 - 6.3	11.8 - 13.2	11.2 - 12.5
	2	11.0 - 12.2	11.6 - 12.6	11.9 - 13.0	12.1 - 13.2	11.6 - 12.8	10.7 - 11.9	8.9 - 9.9	5.8 - 6.4	6.3 - 6.9	13.2 - 14.6	12.5 - 13.8
	3	12.2 - 13.3	12.6 - 13.7	13.0 - 14.2	13.2 - 13.4	12.8 - 14.0	11.9 - 13.1	9.9 - 10.9	6.4 - 6.9	6.9 - 7.5	14.6 - 16.0	13.8 - 15.1
	4	13.3 - 14.4	13.7 - 14.7	14.2 - 15.4	13.4 - 15.5	14.0 - 15.2	13.1 - 14.3	10.9 - 11.9	6.9 - 7.5	7.5 - 8.1	16.0 - 17.4	15.1 - 16.3
	5	14.4 - 15.5	14.7 - 15.8	15.4 - 16.5	15.5 - 16.6	15.2 - 16.4	14.3 - 15.5	11.9 - 12.9	7.5 - 8.1	8.1 - 8.7	17.4 - 18.7	16.3 - 17.6
	6	15.5 - 16.7	15.8 - 16.8	16.5 - 17.7	16.6 - 17.7	16.4 - 17.6	15.5 - 16.7	12.9 - 13.9	8.1 - 8.7	8.7 - 9.4	18.7 - 20.1	17.6 - 18.9
	7	16.7 - 17.8	16.8 - 17.9	17.7 - 18.9	17.7 - 18.9	17.6 - 18.8	16.7 - 17.9	13.9 - 14.9	8.7 - 9.3	9.4 - 10.0	20.1 - 21.5	18.9 - 20.1
	8	17.8 - 18.9	17.9 - 18.9	18.9 - 20.0	18.9 - 20.0	18.8 - 20.0	17.9 - 19.1	14.9 - 15.9	9.3 - 9.8	10.0 - 10.6	21.5 - 22.9	20.1 - 21.4

Foi elaborado também um banco de dados inédito da UEH média mensal de municípios brasileiros para os materiais do presente estudo. Com base no *shapefile* do perímetro dos 5563 municípios brasileiros da malha municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IGBE), a UEH dos 132 mapas foi obtida usando ferramentas do SIG. O valor médio da umidade de equilíbrio mensal de cada produto e para cada município foi obtido com base em todos os pixels (1 km²) contidos nos respectivos perímetros municipais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, as maiores médias mensais de UEH para todos os produtos foram observados em março, enquanto que as menores médias mensais foram registradas em agosto (Tabela 2). Considerando todos os estados, a menor umidade de equilíbrio é observada no Piauí (4,5%), enquanto que o seu maior valor ocorre no Amazonas (21,9%) (Tabela 2 e Figura 3). A região Norte do país apresentou elevadas umidades de equilíbrio durante todo o ano, principalmente nos meses de dezembro a março. As regiões Centro-Oeste e Sudeste são as que apresentam mais sazonalidade (ALVARES et al., 2013b), com elevada variação da UEH ao longo do ano para todos os produtos (Figura 3). Parte do Nordeste, entre Piauí, Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte apresentaram as menores classes de UEH em todos os meses do ano. Da mesma forma que o observado em algumas regiões constantemente úmidas da Amazônia. A faixa costeira entre Santa Catarina e Rio de Janeiro também apresentou as maiores classes de UEH durante todo o ano.

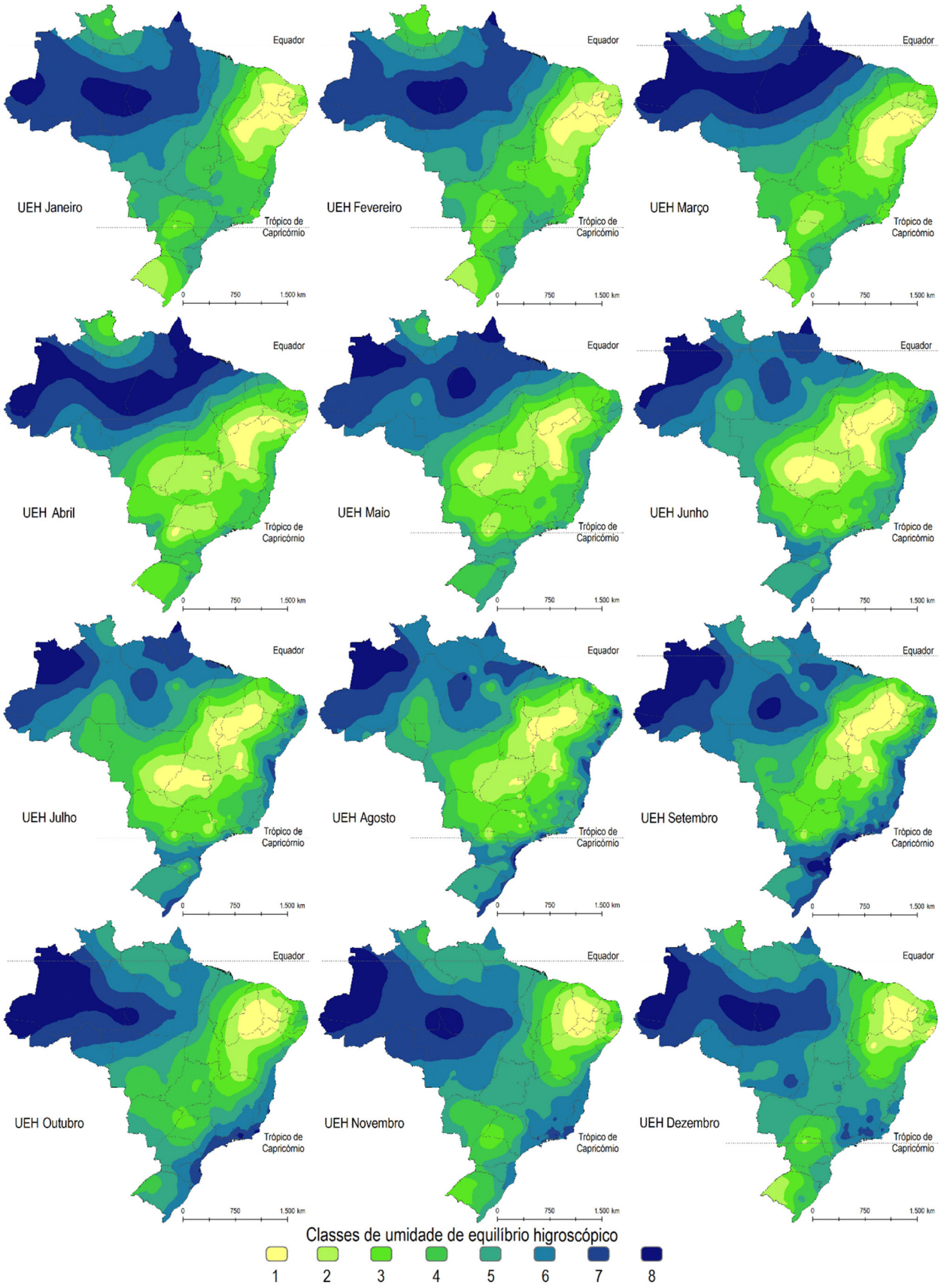

Figura 3. Mapas mensais da umidade de equilíbrio higroscópico (UEH) para painéis e madeira maciça no Brasil. Ver legenda expandida na Tabela 2.

Figure 3. Monthly equilibrium moisture content (EMC) maps for panels and solid wood in Brazil. See expanded legend in Table 2.

Os maiores valores absolutos de UEH de cada produto foram observados em fevereiro, enquanto que os menores foram estimados para o mês de agosto. A UEH mínima ou máxima absoluta de cada produto refere-se ao valor encontrado em um pixel de 1 km² dentre os 8.515.767 km² do território brasileiro. Para o OSB de folhosa usado para parede, a UEH média anual de todo o país é de 14,8%, tendo mínima de 8,25% e máxima de 20,7%. A UEH média anual do Brasil para o OSB de folhosa usado para piso interior é de 15,5%, sendo a mínima de 8,9% e máxima de 21,4%. Para o OSB de conífera usado para parede, a UEH média anual é 15,7%, sendo a mínima de 8,9% e máxima de 21,9%. Para o OSB de conífera para piso interior, a média anual é de 15,6%, sendo a mínima de 9,5% e máxima de 21,2%.

Para o PB (aglomerado interior), a UEH média anual é de 14,7%, enquanto que mínima é de 8,9% e a máxima de 19,9%. A UEH média anual do Brasil para o MDF é de 13,7%, sendo a mínima de 8,0% e máxima de 18,9%. A UEH média anual do Brasil para o HB (chapa dura) é de 11,5%, enquanto que mínima é de 6,7% e a máxima de 15,8%. Para o HPL, a média anual é de 7,3%, sendo a mínima de 4,5% e máxima de 9,8%. A UEH média anual do Brasil para o HPL BCK é de 7,9%, sendo a mínima de 4,9% e máxima de 10,5%. Para madeira maciça de folhosa, a UEH média anual do Brasil é de 15,5%, sendo a mínima de 8,9% e máxima de 21,5%. Por fim, para madeira maciça de conífera, a UEH média anual do Brasil é de 15,8%, sendo a mínima de 9,7% e máxima de 21,3%.

A variação da UEH estimada para os produtos apresentados neste estudo é similar à encontrada em outros trabalhos (GALVÃO, 1975; 1981; JANKOWSKY, 1985; JANKOWSKY et al., 1986; JESUS, 1989; LIMA et al., 1995; LIMA; MENDES, 1995; MENDES et al., 2004; SILVA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2008; BARAÚNA; OLIVEIRA, 2009; CASSIANO et al., 2013; FIORESI et al., 2014; SOUZA et al., 2016), tanto para painéis quanto para madeiras maciças.

Embora alguns pesquisadores já tenham estimado a UEH de madeira maciça e de painéis de madeira no Brasil, os seus resultados foram obtidos apenas ao nível estadual, ou seja, um valor de umidade de equilíbrio médio mensal para cada unidade da federação (LIMA et al., 1995; MENDES et al., 2004; SILVA et al., 2006). No entanto, a variabilidade da UEH observada geograficamente dentro de cada estado é superior à variabilidade entre os estados. Assim, por exemplo, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Bahia apresentaram nos meses de julho, agosto e setembro máxima amplitude de UEH (Figura 3). Desse modo, é importante se conhecer as variações espaciais da UEH de cada produto de madeira em uma escala geográfica maior, como ao nível municipal.

Como extensão dos resultados do presente trabalho, está disponível para consulta um banco de dados com a estimativa da UEH mensal dos painéis de madeira aqui apresentados para os 5563 municípios brasileiros. O banco de dados pode ser encontrado no seguinte link: https://doi.org/10.6084/m9.figshare.4585033. Como exemplo, a Figura 4 apresenta os resultados da consulta deste banco de dados da UEH média mensal para o município de Piracicaba, SP, para os 11 produtos apresentados neste estudo.

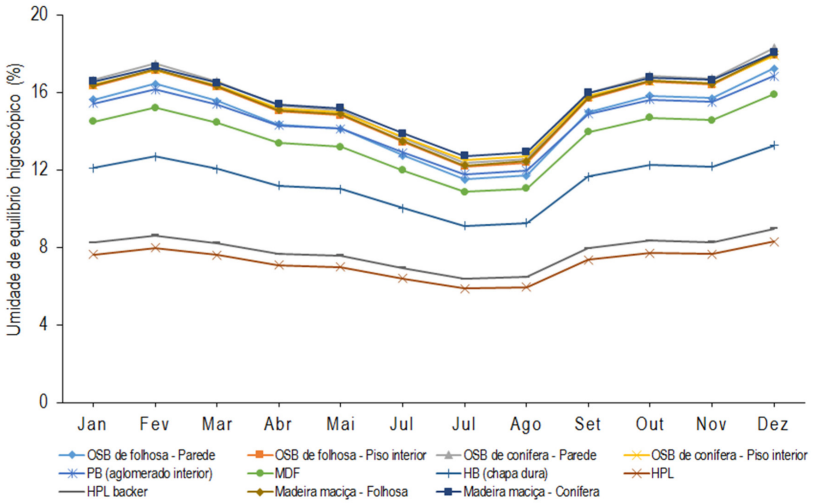

Figura 4. Estimativa da umidade de equilíbrio higroscópico mensal de painéis e madeira maciça para a condições climáticas de Piracicaba, SP, segundo a equação de Nelson (1983) e parâmetros de Wu (1999).

Figure 4. Monthly equilibrium moisture content estimated for panels and solid wood for the climatic conditions of Piracicaba, SP, Brazil, according to the Nelson's (1983) model and parameterized by Wu (1999).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A umidade de equilíbrio higroscópico apresenta elevada variabilidade espaço-temporal no Brasil. A UEH varia em função da localidade, época do ano e tipo de produto, sugerindo às indústrias deste segmento se atentarem a esse fato. Assim, para reduzir a incerteza da umidade de equilíbrio higroscópico de painéis de madeira no país, foi compartilhado o banco de dados da UEH mensal dos 11 produtos para todos os municípios brasileiros. Em 2020, será publicada a nova normal climatológica (1991-2020) da temperatura e umidade relativa, as quais poderão ser empregadas para mapear os novos cenários das UEH no país.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia por ceder os dados usados neste trabalho. As discussões para a realização deste estudo surgiram em 2004 quando os dois primeiros autores cursavam a disciplina “Fundamentos e Aplicações da Física da Madeira” (LCF522) no curso de graduação em Engenharia Florestal da ESALQ-USP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A; STAPE, J.L; SENTELHAS, P. C; GONÇALVES, J. L. M. Modeling monthly mean air temperature for Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 113, p. 407-427, 2013a.

ALVARES C. A, STAPE, J. L; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013b

ALVARES, C. A.; MATTOS, E. M.; SENTELHAS, P. C; MIRANDA, A.C.; STAPE, J. L. Modeling temporal and spatial variability of leaf wetness duration in Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 120, p. 455-467, 2015.

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

CASSIANO, C.; SOUZA, A. P.; STANGERLIN, D. M.; PAULINO, J.; MELO, R. R. Sazonalidade e estimativas da umidade de equilíbrio de madeiras amazônicas em Sinop, Estado do Mato Grosso. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.41, n. 100, p.457-68, 2013.

FIORESI, T.; PIROCA, S.; DALLA COSTA, H.W.; FORTES, F.O.; GATTO, D.A. Umidade de equilíbrio da madeira na região norte do Rio Grande do Sul em diferentes estações do ano. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, n. 1, p.34-41, 2014.

GALVÃO, A.P.M. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. **IPEF**, 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.

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

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório Anual IBÁ 2016**: ano base 2015. São Paulo: IBÁ, 2016. 100 p.

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

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

JANKOWSKY, I. P. Fundamentos de secagem de madeiras. **Documentos Florestais IPEF**, Piracicaba, n.10, p.1-13, 1990.

JANKOWSKY, I. P.; BRANDAO, A.T.O.; OLIVEIRA, H.; LIMA, J.C.; MILANO, S. Estimativas da umidade de equilíbrio para cidades da região sul do Brasil. **IPEF**, v. 32, p. 61-64, 1986.

JESUS, J. M. H. Umidade de equilíbrio da madeira para algumas cidades de Mato Grosso. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., São Carlos, 1986. **Anais...** São Carlos: EESC/LaMEN, 1989. v.2, p.157-66.

LAM, P.S.; SOKHANSANJ, S.; BI, X.T.; LIM, C.J.; LARSSON, S.H. Drying characteristcs and equilibrium moisture content of steam-theated Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* L.). **Bioresource Technology**, Essex, v.116, p.396-402, 2012.

LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; CALEGARIO, N. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.4, p.39-41, 1995.

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, 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, v.76, p. 29 – 34, 2003.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. D. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES setorial**, Rio de Janeiro, v. 27, p. 121-156, 2008.

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.

MENDES, L.M.; MENDES, R.F.; PROTÁSIO, T.P.; OLIVEIRA, S.L.; MESQUITA, R.G.A. Umidade de equilíbrio de painéis OSB produzidos com inclusão laminar e com diferentes tipos de adesivos. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 123-138, 2014.

NELSON, R. M. A model for sorption of water vapor by cellulosic materials. **Wood Fiber Science**, Madison, v. 15, p. 8-22, 1983.

OLIVEIRA, V. M.; DEL MENEZZI, C. H. S.; CAMARGOS, J. A. A.; VALE, A. T. Adequação às normas e qualidade da madeira serrada para fins estruturais comercializada no Distrito Federal. **Floresta**, Santa Maria, v.38, n. 3, p.405-412, 2008.

SILVA, G. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, F. A.; SANTOS, I. F. Umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 639-646, 2005.

SILVA, G. A.; MENDES, L. M.; CALEGÁRIO, M.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; SANTOS, I. F. Estimativa da umidade de equilíbrio de painéis de madeira. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 23-29, 2006.

SOUZA, A. P.; STANGERLIN, D. M.; MELO, R. R.; ULIANA, E. M. Sazonalidade da umidade de equilíbrio da madeira para o Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 423-433, 2016

TURNER, I. W. A two-dimensional orthotropic model for simulating wood drying processes. **Applied Mathematical Modelling**, v. 20, n. 1, p. 60-81, 1996.

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, v. 31, n. 2, p. 187-191, 1999.

COMISSÃO EDITORIAL

Editor Chefe
Prof. Dr. Walter de Paula Lima
Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil

Conselho Editorial
Dr. Arno Brune – APSD Ghana, Adum Kumasi, Republica de Ghana
Dr. Dário Grattapaglia – EMBRAPA, Cenargen, Brasília, DF, Brasil
Prof. Dr. José Luiz Stape – North Caroline State University, Raleigh, USA
Dr. Niro Higuchi – INPA – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, Brasil

Editor de Inglês / English Editor
Dr. Arno Brune – APSD Ghana, Adum Kumasi, Republica de Ghana

Editora Executiva
Kizzy França
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil

Editoração e Diagramação
Luiz Erivelto de Oliveira Júnior
Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, Piracicaba, SP, Brasil

Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)

Germano Aguiar Vieira (Eldorado Brasil) - Presidente
Robert Cardoso Sartório (Fibria Celulose S.A.) - Vice-Presidente

Empresas Associadas Mantenedoras / Partners
» Arauco Florestal Arapoti S.A.
» Arborgen Tecnologia Florestal Ltda
» Aperam BioEnergia Ltda
» ArcelorMittal BioFlorestas Ltda
» Brasilwood Reflorestamento S.A.
» Celulose Nipo-Brasileira S/A - CENIBRA
» CMPC Celulose Riograndense
» Copener Florestal Ltda
» Duratex S/A
» Eldorado Brasil
» Eucatex S/A Indústria e Comércio
» Fibria Celulose S/A
» Forestal Oriental
» Gerdau S.A.
» International Paper do Brasil Ltda
» Klabin S/A
» Lwarcel Celulose Ltda
» Montes Del Plata S.A.
» Stora Enso Florestal RS Ltda
» Suzano Papel e Celulose S.A.
» Vallourec Florestal Ltda
» Veracel Celulose S/A
» Westrock

INSTITUTO DE PESQUISAS
E ESTUDOS FLORESTAIS