



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Avaliação das variáveis do processo de vaporização e secagem da madeira de Eucalyptus pellita pela análise de Two Step Cluster

José Henrique Camargo Pace¹

Leif Armando Portal Cahuana²

João Vicente de Figueiredo Latorraca¹

Jonny Paz Castro³

Carlos Silveira⁴

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

² Industria Forestal / Facultad de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente / Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios - UNAMAD

³ Instituto de Florestas / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

⁴ Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais / Instituto de Floresta / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE SECAGEM DA MADEIRA DE *Eucalyptus pellita* PELA ANÁLISE DE TWO STEP CLUSTER

Resumo: A vaporização pode ajudar a ter maiores valores nos coeficientes de transferência de massa e, conseqüentemente, aumentar a taxa do processo de secagem. O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento dos diferentes períodos de vaporização, quantificando as variáveis envolvidas no processo de secagem e entender como a análise multivariada pode identificar essa diferença no processo de secagem da madeira de *Eucalyptus pellita* Full. A madeira foi vaporizada por dois períodos contínuos de 12h e 24h separadamente. A mensuração das variáveis da madeira, envolvidas no processo foram: taxa de secagem, permeabilidade ao ar, densidade e teor de extrativos. A análise dos dados separou os mesmos em dois clusters, de modo que o cluster 1, testemunha e vapor 12h, se agruparam com a maior quantidade dos dados no espaço de análise, porém sua diferenciação ocorreu pelas menores médias nas variáveis de taxa de secagem e permeabilidade. O cluster 2 que contém as madeiras vaporizadas por 24h obteve as maiores médias. Pode se concluir que o período de 24h apresentou valores que podem se relacionados com uma possível redução no tempo da secagem da madeira.

Palavras-Chave: permeabilidade, taxa de Secagem, teor de extrativos.

EVALUATION OF THE VARIABLES OF THE DRYING PROCESS OF *Eucalyptus pellita* WOOD BY OF TWO STEP CLUSTER ANALYSIS

Abstract: The vaporization can help to have higher values in the mass transfer coefficients and, consequently, increase the rate of drying process. The objective of this research was to evaluate the behavior of different periods of vaporization, quantifying the variables involved in the drying process and understanding how the multivariate analysis can identify the difference in the drying process of wood and *Eucalyptus pellita* Full. The wood was steamed for two continuous periods of 12h and 24h separately. The measurement of the variables of the wood related in the process were: drying rate, air permeability, density and extractive content. The analysis of the data separated them into groups, so that cluster 1, witness samples and steam 12h presented a large amount of data in the analysis space, but their difference in performance occurred by the lower averages in the variables of drying rate and permeability. The cluster 2 that contains the wood vaporized for 24h presented the largest average values. With this study it can be concluded that the 24-hour period presented values that could be related to a reduction of weight in the drying time of the wood.

Keywords: Permeability, Drying Rate, Extractive Content

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

1. INTRODUÇÃO

Um dos objetivos do mercado madeireiro é melhorar as propriedades das madeiras mais comercializadas, para que sua comercialização ganhe outros ramos na indústria, que antes não participavam pelas limitações devido à algumas propriedades mecânicas, físicas e biológicas da madeira.

Segundo Rozas Mellado (1993), a aplicação de vapor na madeira é uma técnica que tem sido explorada para uma grande variedade de propósitos, sendo um desses o aumento da permeabilidade e a melhoria na estabilidade dimensional. A vaporização pode ajudar a ter maiores valores dos coeficientes de transferência de massa e, conseqüentemente, aumentar a taxa do processo de secagem (DASHTI et al., 2012).

Guina Luis (2014) afirma que a vaporização de *E. saligna* por 12 e 24 horas promoveu um ganho no tempo de secagem, na recuperação do colapso e na diminuição dos teores de extrativos. A técnica de vaporização promove uma uniformização na cor da madeira e melhorias nas propriedades mecânicas, químicas e físicas na madeira.

Uma ótima ferramenta para análise de dados com muitas variáveis, que podem ou não correlacionar-se entre si é a análise multivariada. Um método muito utilizado, dentre tantos outros é o Two step cluster.

Quando se opta pela Two Step Cluster, o analista trabalha com grandes bases de dados, com muitas variáveis mistas coexistentes numa mesma base de dados, o que se configura num problema de configuração complexa e de multidimensionalidade (MINGOTE, 2005). Esta constitui a principal motivação para o uso da Two Step Cluster em bases de dados criadas no SPSS, em várias áreas do conhecimento.

Com isso o objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento dos diferentes períodos de vaporização, nas variáveis envolvidas no processo de secagem (taxa de secagem, permeabilidade, densidade e teor de extrativos), e entender como a análise multivariada pode identificar essa diferença no processo de secagem da madeira e *Eucalyptus pellita* Full.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção das amostras foram abatidas 6 árvores de *Eucalyptus pellita* provenientes de plantios experimentais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e posteriormente foram obtidas toras de 2 metros, reduzidas em toretes de 35 cm de comprimento, os quais foram cortados ao meio no sentido longitudinal do torete. O desdobro secundário do torete foi conduzido com auxílio de uma serra de fita, de modo que se retirou o maior número de peças radiais com espessura de 3 cm e com larguras variadas de acordo com o raio da tora. As amostras foram tratadas e climatizadas para os ensaios.

Vaporização da Madeira

A vaporização foi conduzida numa autoclave horizontal com capacidade de aproximadamente 0,18 m³, com controle de temperatura e pressão. A temperatura de vaporização máxima aplicada foi de 98°C±2 e umidade relativa 95%±5. A vaporização foi aplicada nas peças por dois períodos constantes com durações de 12 h e 24 h. A temperatura do ambiente interno da autoclave e do interior das peças foi monitorada, por meio de termopares (tipo “J”) acoplados num módulo de aquisição de sinais. Desta forma, foi possível controlar a temperatura da madeira, para que não ultrapassasse os 90°C.

Determinação da Densidade Básica

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Para determinação da densidades básica seguiu-se a norma Associação Brasileira de Normas Técnicas- ABNT - NBR 7190:1997. Foram confeccionados 20 corpos-de-prova por tratamento, com dimensões de 2x3x5cm (largura x espessura x comprimento).

Permeabilidade ao ar

Após o processo de climatização, as amostras do ensaio de permeabilidade foram torneadas em peças de formato cilíndrico com diâmetro de 2,0 cm. Em seguida as mesmas foram seccionadas num comprimento de 5,0 cm para cada corpo de prova do ensaio. Essas dimensões foram utilizadas em diversos trabalhos e é adotada como padrão nos ensaios de permeabilidade ao ar (SILVA 2007, BARAÚNA 2010 e TAGHIYARI et al 2013, 2014, TAGHIYARI et al 2012 b).

Já nas dimensões finais, as amostras tiveram sua face longitudinal impermeabilizadas com verniz marítimo a base de poliuretano, para garantir que a passagem do gás se desse apenas na direção longitudinal da madeira. (Figura 1)

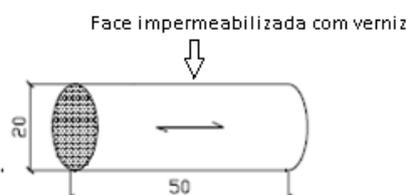


Figura 1. Dimensões do corpo-de-prova em mm (Fonte: Silva, 2007).

Para a determinação da permeabilidade da madeira ao ar atmosférico, foram utilizados quatro fluxômetros ligados em série nas seguintes escalas e sequência: 0,04 a 0,5 LPM (Litros por minuto); 0,2 a 2,5 LPM; 0,4 a 5,0 LPM e 2,0 a 25,0 LPM. Numa das extremidades da série de fluxômetros foi conectada um bomba de vácuo e na outra foram encaixados os corpos de prova, sendo um de cada vez. Estas foram fixadas com um auxílio de uma braçadeira de 3/4 (21 mm), para evitar qualquer entrada de ar. A leitura foi realizada no momento da estabilidade do fluxo por aproximadamente 10s, anotando os valores de fluxo e da bomba de vácuo.

Para a determinação da permeabilidade da madeira ao gás, se utilizou a equação, seguindo a lei de Darcy.

$$Kg = \frac{Q \cdot L \cdot Pi}{A \cdot \Delta P \cdot Pm} \quad \text{Equação 1}$$

Onde, Kg: permeabilidade ao gás (cm³/cm.atm.s);
Q: volume do fluxo de gás que percorre a espécie (cm³/s);
L: comprimento da amostra (cm);
Pi: pressão de entrada, a do ambiente (atm);
A: área da seção transversal (cm²);
 ΔP : diferença de pressão (atm);
Pm : média da pressão no corpo-de-prova (atm).

Taxa de Secagem

Através da perda de massa de água obtida a cada 24 horas durante todo o processo de secagem das amostras, determinou-se a taxa de secagem da madeira, para cada tratamento.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

A área de evaporação utilizada foi determinada através da área do prisma retangular, sendo o corpo de prova considerado um prisma retangular. A taxa de secagem da madeira em cada tratamento foi calculada para os intervalos de umidade variando de Verde até 15%, de Verde até 30% e de 30% até 15% de umidade.

Análise do Teor de Extrativos Totais

Para a determinação dos extrativos totais da madeira natural e submetida aos processos de vaporização, foram utilizadas cinco gramas de amostras absolutamente secas ao ar, submetida a seguinte série elutropica: ciclohexano, acetato (1:2) e metanol.

Cada extração foi realizada durante seis horas. Após cada extração a solução foi colocada num evaporador rotatório (Rotavapor) para que com o uso do vácuo e calor, fosse possível concentrar e pesar a parte que foi extraída em cada tipo de solvente. O procedimento foi repetido sucessivas vezes, na troca de cada solvente. Em cada análise foram utilizadas 3 repetições.

Análise estatística

Os resultados obtidos nas análises das variáveis quantitativas (permeabilidade, taxa de secagem, teor de extrativos e densidade) foram unidas as variáveis qualitativas (período de vaporização). Foi feita uma análise multivariada dos resultados obtidos em cada variável, a técnica utilizada foi a “*Two Step cluster*”, para observar em quais variáveis, relacionadas com o processo de secagem, a vaporização se relaciona melhor. Para realizar a análise da Two Step Cluster foi utilizado o programa SPSS 20.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises estão apresentados na tabela 1, com os seus valores máximos e mínimos, média e desvio padrão das variáveis.

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis do processo de secagem

	Estatística descritiva				
	n	Mínimo	Máximo	Média	Coefficiente de Variação
Taxa de secagem	27	0,4608	0,7477	0,57431	0,082712
Permeabilidade	27	1,8590	21,730	7,73848	6,338381
Densidade básica	27	0,7386	0,9417	0,83765	0,061932
Teor de extrativos	27	2,4000	16,700	8,13148	2,731340

(n= número de repetições)

A taxa de secagem apresentou valores médios de 0,573 kg/cm².h . A madeira de eucalipto apresentou uma densidade básica média de 0,837 g/cm³. A média do teor de extrativos totais encontrado para a madeira de foi de 8,13%, sendo esse valor superior ao encontrado na literatura para a espécie estudada.

A análise estatística conseguiu diferir as variáveis em dois grupos (clusters), sendo o cluster 1 o que tem a maior quantidade dos dados do espaço de análise, tendo um tamanho maior que o cluster 2, como mostra a figura 2.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

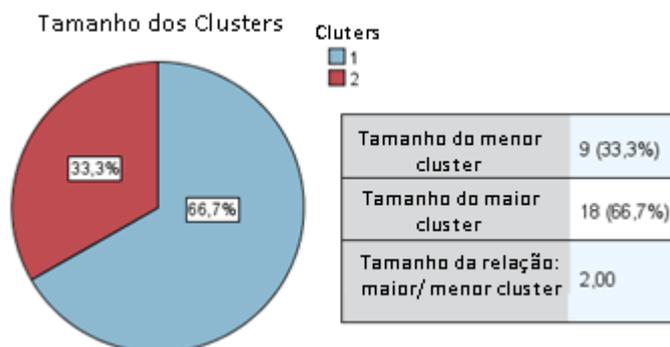


Figura 2. O gráfico de pizza ilustra o tamanho dos clusters e a porcentagem da população pertencente a cada cluster (Output do programa SPSS 20.0).

A clusterização ocorreu através dos valores que as variáveis exercem sob cada cluster, apresentando valores de importâncias diferentes entre as variáveis envolvidas no processo de secagem da madeira. Dentre as variáveis observadas no processo, o período de vaporização apresentou o maior valor de importância para a diferenciação nos clusters, assumindo o efeito dos tratamentos, tendo em seguida a taxa de secagem. A densidade foi a variável que menos teve impacto na separação dos clusters.

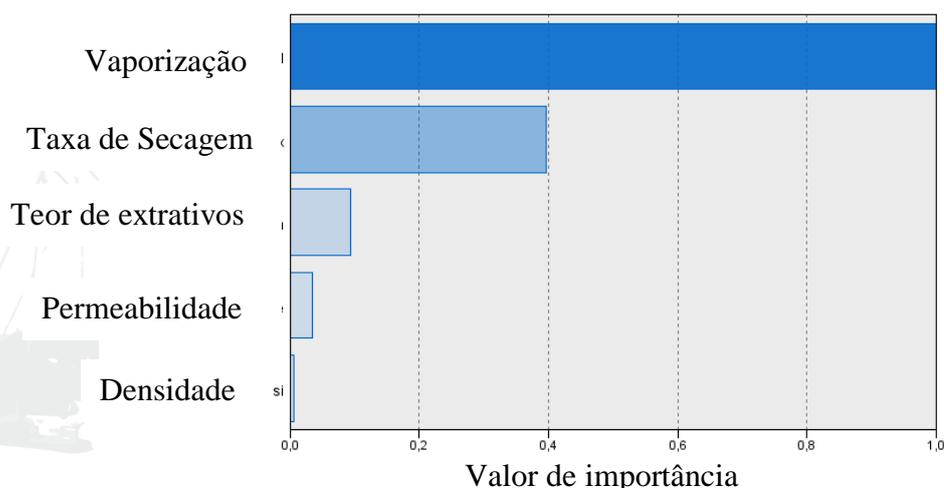


Figura 3. Output gerado pelo SPSS ilustra o valor de importância que cada variável apresentou para a divisão e formação dos clusters.

As madeiras expostas aos diferentes períodos de vaporizações analisados apresentaram diferença significativa, onde o período de 12h de vapor se agrupou no cluster que contém o tratamento sem vapor, evidenciando que o tratamento com apenas 12 horas de vapor não diferiu da testemunha estatisticamente (figura 4). No entanto ao aplicarmos 24 horas de vapor ficou evidenciado que houve a separação desse tratamento em cluster diferente dos demais tratamentos.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

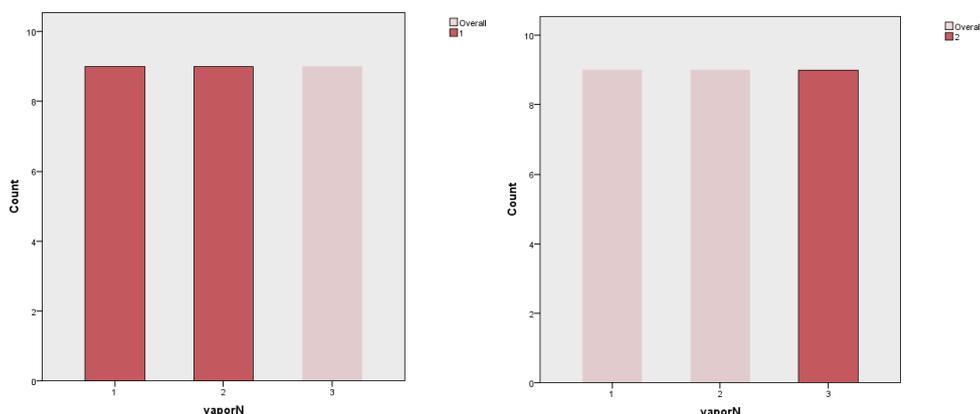


Figura 4. Demonstra os períodos de vaporização pertencente a cada cluster (1=0h de vapor; 2=12h de vapor e 3=24h de vapor).

O programa (SPSS 20.0) gerou uma tabela (Figura 5) da análise multivariada, com os valores médios e a ordem de importância que cada variável exerceu para separar cada cluster.

Cluster	1	2
Tamanho	66,7% (18)	33,3% (9)
Variáveis	Sem vapor e com 12h de vapor	24h de vapor
	Taxa de secagem 0,54	Taxa de secagem 0,63
	Teor de extrativos 8,54%	Teor de extrativos 7,32%
	Permeabilidade 7,31	Permeabilidade 8,60
	Densidade 0,84	Densidade 0,84

Clusters

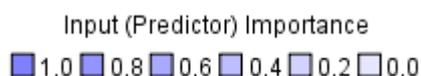


Figura 5: Output do SPSS demonstra a estrutura de cada cluster com o nível de importância de cada variável e seus valores médios dentro de cada cluster.

Na figura acima observa-se que o cluster 1 apresentou a maior quantidade dos dados no espaço de análise, porém sua diferenciação ocorreu pelas menores médias como uma taxa de secagem menor (0,54), uma permeabilidade menor (7,31), porém com um teor de extrativos maior (8,54), e contém os tratamentos que apresentam um período de vaporização igual ou menor que 12 horas.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

O cluster 2 obteve valores inversos e ainda teve uma parte menor da população amostral, apresentou uma taxa de secagem e permeabilidade maiores que o cluster 1, com um teor de extrativos menor, isso se deve ao efeito da vaporização pois é nesse cluster que temos 100% do período de 24 horas de vaporização.

O tempo de exposição da madeira por um período de 24 horas foi suficiente para acelerar o processo de secagem aumentando a taxa de secagem, sendo significativamente diferente do tempo de 12 horas e da testemunha (0h de vapor). A permeabilidade, com a aplicação de vapor por 24 horas, apresentou o mesmo comportamento aumentando sua média, pois segundo Taghiary et al. (2013), tratamentos com altas temperaturas podem alterar a química e o formato das paredes celulares criando rachaduras ao longo da parede celular aumentando a permeabilidade da madeira, evidenciando que o tempo de vapor influencia a permeabilidade (DASHTI et al. 2012)

O resultado do aumento da permeabilidade pela aplicação de vapor (24hs), também corrobora com os resultados de teor extrativos totais. A redução do teor de extrativos causado pela aplicação de vapor pode ter influenciado o aumento da permeabilidade, tendo em vista que ocorre uma mobilização e lixiviação de extrativos orgânicos localizados nos espaços celulares e intercelulares (GUINA LUIS, 2014). Brito et al. (2008) comenta que o tempo dos tratamentos térmicos acarretam em diferentes alterações, como a própria composição química da espécie, podendo ser explicado pela hidrólise ácida da hemicelulose, favorecendo o fluxo de fluídos e gases.

Segundo Guina Luis (2014), o processo de vaporização extrai parte dos extrativos, possibilitando um aumento na taxa de secagem especialmente durante a retirada da água livre. Segundo o mesmo autor isso acontece, pois, a madeira quando submetida à alta temperatura ocorre uma redução (material volátil) ou movimentação dos extrativos.

4. Conclusões

O período de vaporização por 24h apresentou diferenças entre as variáveis envolvidas no processo de secagem. Com a separação em dois clusters ficou evidente a diferença entre o tratamento com 12h de vapor, visto que este se agrupou no mesmo grupo da testemunha, revelando a proximidade dos valores entre as variáveis.

Entre as variáveis envolvidas no processo de secagem a permeabilidade e a taxa de secagem apresentaram valores superiores quando a madeira sofreu vaporização por 24h.

Logo o período de vaporização esta totalmente ligado com o teor de extrativos que também se relaciona com a permeabilidade e que por sua vez incide diretamente na taxa de secagem da madeira. Com isso períodos iguais ou maiores de 24 horas de vapor podem acelerar o processo de secagem, pois retiram alguns extrativos e melhoram a permeabilidade e consequentemente a taxa de secagem da madeira de *Eucalyptus pellita*.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPQ, à CAPES, ao Programa de Pós-Graduação de Ciências Ambientais e Florestais – PPGCAF/UFRRJ e à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ.

6. Referências bibliográficas

BARAÚNA, E. E. P. Permeabilidade das madeiras de Amapá (*Brosimum parinarioides* Ducke) e Faveira (*Parkia gigantocarpa* Ducke). p.71, 2010 Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

BRITO, J. O., LEÃO, M. M., SILVA, F. G., ALMEIRDA, G.. Chemical composition changes in *Eucalyptus* and *Pinus* woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology**, v.99, n.18, p.8545-8548, 2008.

DASHTI, H., SALEHPUR, S. TAGHIYARI H. M., AKBARI FAR, F., HESHMATI, S. The Effect Of Nanoclay On The Mass Transfer Properties Of Plywood Digest **Journal of Nanomaterials and Biostructures** Vol. 7, No. 3, p. 853 – 860, 2012.

ELEOTÉRIO, J. R.; SILVA, C. M. K. da Ajuste dos parâmetros da isoterma de sorção de Hailwood e Horrobin para madeira **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas/RS, v. 02, n. 02, Novembro de 2011

GUINA LUIS, R. C.. Processo de vaporização na homogeneização da cor da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith e seu efeito nas propriedades tecnológicas. p107. 2014 - .Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal..

ROZAS MELLADO, E. C. E. Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado. , p.113, 1993. Dissertação de Mestrado(Universidade Federal do Paraná – UFPR), Curitiba.

SIAU, J.K. **Flow in wood**. Syracuse, Syracuse University Press, 1971. 131p.

SILVA, M. R. Determinação da permeabilidade em madeiras de florestas plantadas. p.137 , 2007- Dissertação (Área de Concentração: Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos/ Instituto de Física de São Carlos/ Instituto de Química de São Carlos, São Carlos – SP.

TAGHIYARI, H. R., MALEK, B. M. Effect of heat treatment on longitudinal gas and liquid permeability of circular and square-shaped native hardwood specimens **Springer-Verlag** Berlin Heidelberg, v. 50, issue 8, p 1125–1136, 2014.

TAGHIYARI, H.R. Effects of heat-treatment on permeability of untreated and nanosilver-impregnated native hardwoods. **Maderas Ciencia Y Tecnologia**. v.15, n2, p 183-194 , 2013.

TAGHIYARI, H.R., ENAYATI, A., GHOLAMIYAN, H. Effects of nano-silver impregnation on brittleness, physical and mechanical properties of heat-treated hardwoods. **Wood Sci Technol** 47(3):467–480, 2012.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

