

Efeito da secagem nas propriedades acústicas da madeira de marupá (*Simarouba amara* Aubl.)

Márcia Helena Bezerra Marques¹, Varlone Alves Martins², Mário Rabelo de Souza³,
Marcus Vinicius da Silva Alves

Laboratório de Produtos Florestais (LPF/IBAMA), SCEN, Trecho 2, CEP 70818-900, Brasília (DF).

*marcia.marques@ibama.gov.br*¹

LPF/IBAMA, SCEN, Trecho 2, CEP 70818-900, Brasília (DF). *varlone.martins@ibama.gov.br*²

LPF/IBAMA, SCEN, Trecho 2, CEP 70818-900, Brasília (DF). *mario.souza@ibama.gov.br*³

LPF/IBAMA, SCEN, Trecho 2, CEP 70818-900, Brasília (DF). *marcus.alves@ibama.gov.br*⁴

Recebido em 31 de Agosto de 2004

Resumo

Amostras de madeira de marupá (*Simarouba amara* Aubl.) foram submetidas a dois tratamentos: secagem em estufa e secagem ao ar livre. A secagem convencional foi conduzida por um período de tempo máximo de 52 horas e, a secagem ao ar livre, por um período de 47 dias. As propriedades acústicas foram avaliadas em testes de vibração forçada, sendo determinados a frequência de ressonância e o decaimento logarítmico. De acordo com a análise de variância, não houveram diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que a capacidade das amostras de marupá absorver vibrações não foi alterada pela secagem convencional.

Palavras-chaves: acústica, secagem, marupá

Effect of drying on the acoustic properties of marupá wood (*Simarouba amara* Aubl.)

Abstract

Two sets of marupá wood samples (*Simarouba amara* Aubl.) were submitted to the following treatments: kiln drying, at 70° C and 80° C of temperatures and of up to 52 hours of drying time; and 47 days of air drying. The acoustic properties were evaluated by means of applying forced vibration to the samples in order to determine the natural frequency of vibration and the logarithmic decrement. ANOVA tests performed showed no statistical differences between the two treatments, suggesting that the acoustic properties studied were not substantially affected by conventional kiln drying.

Key words: acoustic, drying, marupa

Introdução

A fabricação de instrumentos musicais no Brasil tem sido desestimulada pelos altos preços pagos na importação de cerca de duas dezenas de espécies

de madeiras tradicionalmente utilizadas para essa finalidade (Souza, 1983). Para reverter essa situação, Souza (1983) e Slooten & Souza (1993) desenvolveram pesquisas de caracterização tecnológicas importantes, para definir espécies alternativas de madei-

ras tropicais brasileiras com potencial para substituir aquelas importadas já estabelecidas no mercado. Dentre as espécies estudadas, encontra-se o marupá, folhosa tropical cuja madeira apresenta cor branco-palha levemente amarelada (Loureiro et al., 1979), de fácil trabalhabilidade e bom acabamento (Souza, 1983). De acordo com Slooten & Souza (1993), o marupá é indicado para ser utilizado como tampo de instrumento de corda, uma vez que suas propriedades como a densidade, o módulo de elasticidade, o decremento logarítmico e a frequência de vibração são semelhantes àquelas da madeira de spruce (*Picea abies*), tradicionalmente utilizada. Além disso, Longwood (1962) também menciona que, nos Estados Unidos, a madeira de marupá é utilizada para tubos de órgãos e teclas de pianos, devido, principalmente, a sua baixa contração e boa trabalhabilidade.

Além das propriedades tecnológicas mencionadas, a madeira utilizada na fabricação de instrumentos musicais deve estar com o teor de umidade entre 6% e 8%. A secagem se constitui em uma etapa extremamente importante do processamento, pois, quando realizada de forma adequada, proporciona a melhoria das propriedades da madeira, garantindo tanto a qualidade da matéria-prima como a do produto final. Quando a madeira seca até o teor de umidade final apropriado, a maior parte da contração já ocorreu, tornando-a menos susceptível a movimentos dimensionais e, conseqüentemente, mais estável. Dessa forma, menor será a tendência da madeira apresentar empenos, rachaduras ou qualquer outra alteração, principalmente quando em uso, devido à secagem sem controle. Esse processo também causa uma sensível melhora das propriedades mecânicas como a flexão estática, a compressão, a dureza e o cisalhamento, assim como das propriedades de isolamento elétrico e acústico (Martins, 1988). Tradicionalmente, a secagem natural é o método mais utilizado na fabricação de instrumentos musicais. Segundo Mims (2001), a maioria dos *luthiers* prefere trabalhar com a madeira seca ao ar livre. Alguns desses profissionais chegam a deixar a madeira por um período de 6 a 8 anos em ambiente climatizado antes de utilizá-la. De acordo com Gilbert (1999), a secagem adequada da madeira ao ar livre significa mais do que simplesmente reduzir a tendência a empenos, pois à medida que o tempo passa, a resis-

tência aumenta e as propriedades acústicas são melhoradas. Além disso, a lenta secagem ao ar livre permite alterações químicas que “curam” a madeira e, por essa razão, algumas peças chegam a ficar expostas às condições ambientais por até 30 anos. Gilbert (1999) também relata que Martin Guitars, produtor americano de guitarras em larga escala, realiza uma secagem em duas etapas: primeiro, a madeira é seca em estufa e posteriormente colocada ao ar livre, de modo a recriar, artificialmente, os efeitos causados pela longa secagem natural. Segundo Woodweb (2000), a taxa de secagem não influencia as propriedades acústicas da madeira, mas o tempo em que a madeira permanece na secagem natural pode contribuir para a liberação das tensões inerentes ao processo de secagem, tenha sido ele rápido ou lento. Entretanto, quanto mais rápida for a secagem, mais longo será o tempo necessário para que essas tensões sejam liberadas. Wengert (1998) ressalta ainda que a melhoria conferida às propriedades acústicas, pela secagem ao ar livre, não pode ser obtida em outros processos de secagem conduzidos a baixas temperaturas.

No Brasil, as pesquisas realizadas com o objetivo específico de investigar a influência dos tipos mais comuns de secagem de madeiras na performance de instrumentos musicais são praticamente inexistentes.

A secagem natural, além de demandar muito tempo, dependendo das condições de temperatura e umidade relativa do ar do local onde é realizada, pode não proporcionar à madeira o teor de umidade final desejado. A secagem artificial convencional é vantajosa em termos de tempo, mas seus eventuais efeitos sobre as propriedades acústicas da madeira necessitam ser mais bem investigados.

Esse estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da secagem convencional nas propriedades acústicas da madeira de marupá (*Simarouba amara* Aubl.), quando comparados com os da secagem ao ar livre.

Materiais e Métodos

A madeira de marupá foi adquirida comercialmente na forma de um bloco com dimensões aproximadas de 75 cm de largura por 50 cm de espessura e

2,70 m de comprimento. No sentido longitudinal tangencial, foram retiradas tábuas isentas de medula, com dimensões de 14 cm de largura por 2,5 cm de espessura e 50 cm de comprimento (Figura 1).

Após o desdobro do material, as tábuas isentas de defeitos foram codificadas, separadas aleatoriamente em dois pacotes e colocadas em tanques com água, permanecendo submersas até o momento dos tratamentos de secagem.

Os pacotes de tábuas de marupá foram retirados ao acaso do tanque com água e submetidos aos seguintes tratamentos:

- a) tratamento 1 – secagem em estufa convencional;
- b) tratamento 2 – secagem ao ar livre.

Após serem retiradas do tanque, as tábuas destinadas à secagem convencional foram empilhadas verticalmente para que o excesso de água fosse eliminado, sendo, então, seus topos impermeabilizados para evitar a rápida perda de umidade durante a secagem. Foram selecionadas as três tábuas mais pesadas da carga e, provavelmente, as mais úmidas para monitoramento do processo de secagem. Para isso, no centro de cada uma dessas tábuas, foram colocados dois eletrodos com 12 mm de comprimento, distantes 30 mm entre si, permitindo determinar continuamente o teor de umidade.

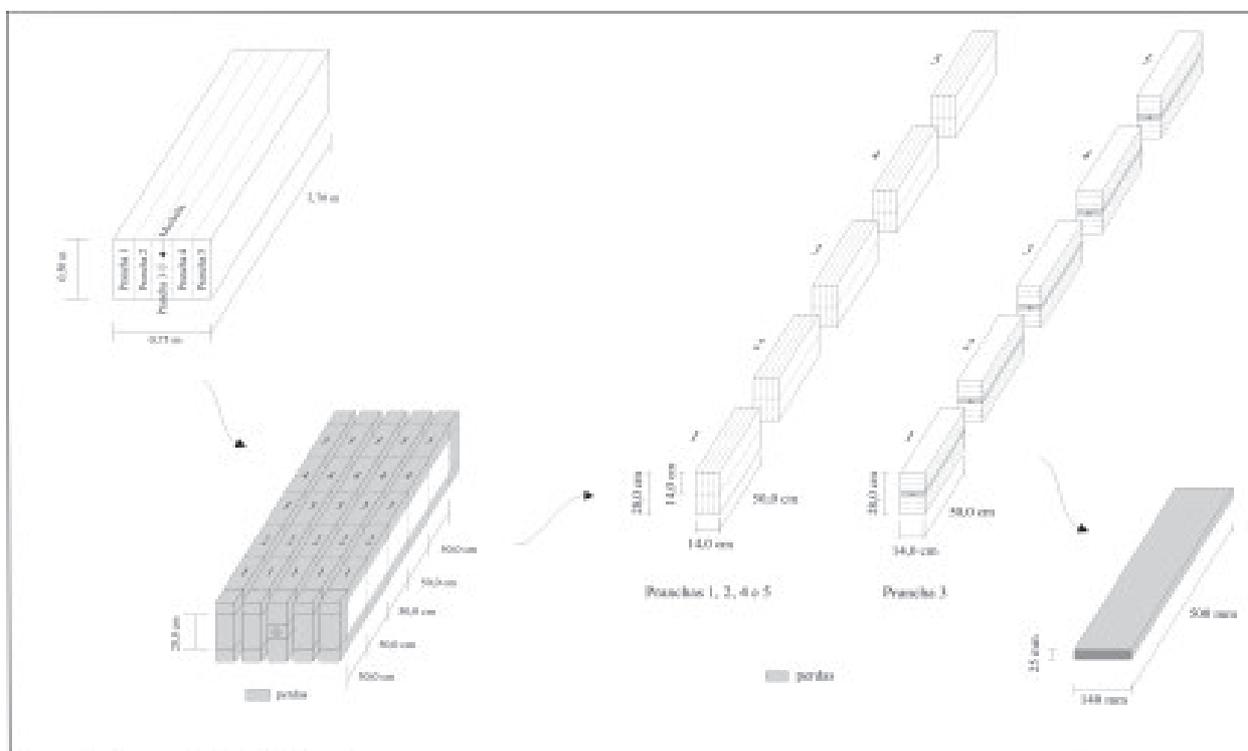


Figura 1. Esquema de retirada das tábuas.
Figure 1. Schematic representation of the cutting of the boards.

As tábuas foram secas até um teor de umidade final de 10% (base seca) em uma estufa para testes Hildebrand, modelo TKA-HD II, equipada com controle automático Gann, utilizando-se o programa recomendado por Marques et al. (1997), descrito na Tabela 1, com velocidade do ar entre 2,5 e 2,8 m/

s, período de aquecimento inicial de 3 horas e de acondicionamento de 6 horas.

As tábuas do lote 2, que se encontravam submersas em água, foram submetidas à secagem ao ar livre em um galpão de 40 m² coberto e ventilado, localizado em Brasília-DF, de acordo com a metodologia descrita por Martins et al. (1985).

Tabela 1. Programa de secagem utilizado para a madeira de marupá, recomendado por Marques et al. (1997).
Table 1. Drying schedule for marupá wood, according to Marques et al. (1997).

TU(%)	TBS (°C)	TBU (°C)	TUE(%)	URA (%)
Verde 30	70,0	62	9,7	68
30 25	70,0	56	6,7	50
25 20	80,0	63	5,7	46
20 15	80,0	58	4,5	35
15 10	80,0	50	3,1	22
Acondicionamento	80,0	76	13,2	86

Antes da montagem da pilha, todas as tábuas tiveram seus topos vedados. Em seguida, determinaram-se as massas iniciais (*M_i*) em balança eletrônica com precisão de 0,01 g. O acompanhamento da perda de peso e do teor de umidade da pilha, durante a secagem, foi feito pelo valor médio determinado para quatro tábuas utilizadas para monitorar a secagem, selecionadas por serem as mais pesadas da pilha e, provavelmente, as mais úmidas.

A pilha foi disposta transversalmente à direção predominante dos ventos, distanciada 1,5 m das laterais do galpão de secagem. As 24 tábuas foram empilhadas sobre suportes de concreto a uma distância de 30 cm entre o solo e a primeira camada de tábuas. Cada camada da pilha era formada por três tábuas. Com a finalidade de permitir a circulação do ar entre as camadas da pilha, foram utilizados separadores com espessura de 15 mm.

A secagem foi interrompida quando a média dos teores de umidade das quatro tábuas usadas para monitorar o processo atingiu o mais próximo que as condições climáticas permitiram de (10±1)%.

Após a secagem convencional e a secagem ao ar livre, procedeu-se à seleção das peças destinadas à preparação dos corpos-de-prova a ser utilizados nos ensaios acústicos. Sempre que possível, selecionaram-se peças provenientes do mesmo torete, objetivando reduzir a variabilidade existente na madeira ao longo da altura.

Para cada tratamento, foram retirados 10 corpos-de-prova com dimensões de 20 mm de largura (tangencial) por 3 mm de altura (radial) por 300 mm

de comprimento na direção da grã (Figura 2). Em seguida, esses corpos-de-prova foram colocados em ambiente controlado com temperatura de (20±2)°C, umidade relativa do ar de (65±2)% e teor de umidade de equilíbrio aproximado de 12%, onde permaneceram por 9 meses até o momento de realização dos ensaios.

As propriedades acústicas da madeira seca ao ar livre e seca em estufa convencional foram avaliadas por meio de testes de vibração forçada, em que foram determinados a frequência de ressonância, ou frequência natural de vibração, e o decaimento logarítmico.

Em ambas as extremidades das amostras, foram colocadas chapas de metal de dimensões e massas desprezíveis em relação à amostra. Para a realização do ensaio, as amostras tiveram seus extremos apoiados sobre dois conjuntos magnéticos. O primeiro (excitador) era acionado por um eletroímã modulado senoidalmente por um sintetizador de frequências. A amostra foi submetida a uma vibração forçada crescente de 100 Hz a 500 Hz, com amplitude constante, variando-se a frequência em 0,01 Hz por passo. Dessa forma, o excitador colocava a amostra em vibração com frequência sempre crescente que, quando coincidia com a frequência natural da madeira, fazia com que esta entrasse em ressonância. O segundo conjunto magnético (detector de vibração) recebia a vibração transmitida através da madeira e registrava-a em computador.

A partir dos dados registrados, determinaram-se a frequência de ressonância e o decaimento logarítmico, que são formas de expressão de um sis-

$$f_0$$

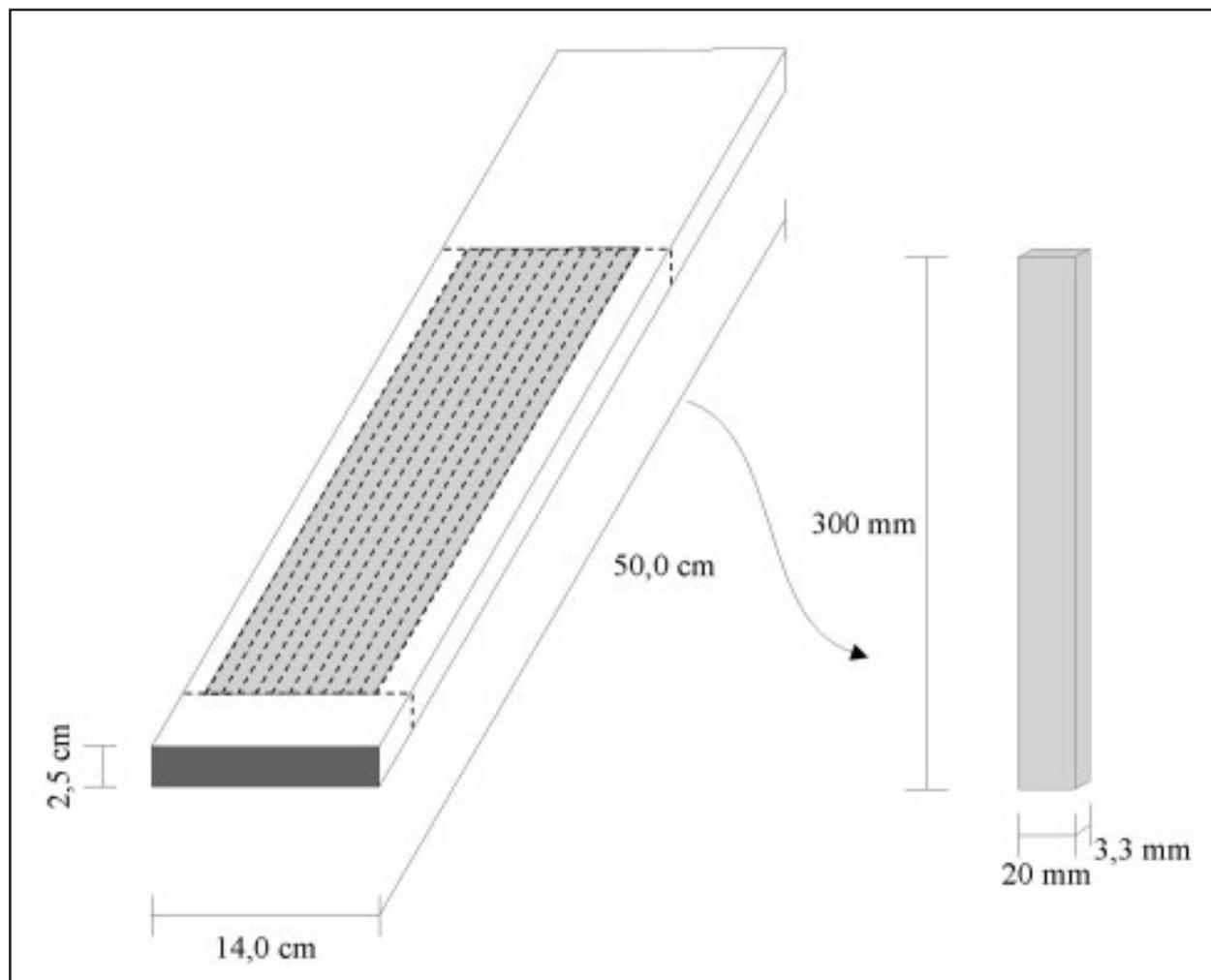


Figura 2. Retirada dos corpos-de-prova utilizados para determinar as propriedades acústicas.
Figure 2. Cutting wood samples used for determination of acoustical properties

tema ressonante amortecido excitado por uma fonte senoidal.

O decaimento logarítmico foi determinado pela equação:

Onde:

λ é o decaimento logarítmico;

$\Delta\phi$ é a diferença entre as frequências à esquerda e à direita, determinadas nos pontos correspondentes aos níveis de intensidade sonora de 3 dB abaixo do principal pico de ressonância, em *hertz*;

f_0 é a frequência principal de ressonância, em *hertz*.

Determinou-se a massa específica aparente para cada uma das amostras ensaiadas, com o objetivo

de se ter uma informação adicional dessa propriedade física que interfere no amortecimento da vibração.

O experimento foi estruturado como inteiramente casualizado. Para verificar diferenças significativas entre a frequência de ressonância e o decaimento logarítmico determinados para a madeira de marupá seca em estufa e ao ar livre, realizou-se uma análise de variância ao nível de significância de 2,5%.

Resultados e Discussão

O tempo de secagem em estufa, a temperaturas de 70°C e 80°C, foi de 52,0 horas, e a madeira apresentou moderada tendência ao torcimento médio e

ao endurecimento superficial forte, apesar de ter sido submetida a um período de 6 horas de acondicionamento. Isso indica que o período de acondicionamento foi insuficiente para aliviar as tensões e que o mesmo deve ser aumentado. O tempo de secagem ao ar livre foi de 47 dias, e a madeira, embora não tenha desenvolvido defeitos significativos, apresentou moderada tendência ao endurecimento superficial médio. Como a secagem foi conduzida nos meses mais secos do ano, essas tensões podem ter sido decorrentes das severas condições de temperatura e umidade relativa do ar aos quais a madeira foi exposta (temperatura máxima de 34°C e umidade relativa do ar mínima de 16%). Baixas umidades relativas aceleram a secagem ao ar e isso, apesar de ser aparentemente vantajoso, pode causar defeitos e endurecimento superficial em espécies mais susceptíveis.

A Tabela 2 apresenta os resultados médios e o desvio padrão da frequência de ressonância e do decaimento logarítmico, determinados para os dois tratamentos aplicados à madeira de marupá, juntamente com a massa específica aparente e o teor de umidade.

Embora não exista diferença significativa entre as frequências de ressonância determinadas, a 2,5% de probabilidade, a madeira seca em estufa apresentou um valor médio 2,6% superior ao da madeira

seca ao ar livre. Para o decaimento logarítmico, a secagem em estufa causou uma redução de 4,2%. Essas alterações indicam que a capacidade da madeira de marupá seca em estufa absorver vibração e não permitir sua propagação diminuiu, ou seja, que para ser utilizada na fabricação de tampos de instrumentos musicais de corda, suas propriedades acústicas melhoraram, apesar de essa redução no valor do decaimento logarítmico não ter sido significativa a 2,5% de probabilidade. Deve-se considerar, porém, que a secagem ao ar livre foi realizada em apenas 47 dias e, de acordo com Wengert (1998), as melhorias nas propriedades acústicas da madeira utilizada para instrumentos musicais, são obtidas quando esta é submetida à secagem ao ar livre por períodos de tempo iguais ou superiores a um ano. Outro aspecto relevante consiste no fato de as amostras utilizadas nos dois tratamentos terem permanecido em sala climatizada por nove meses após a secagem. Esse procedimento, comparável ao descrito por Gilbert (1999), pode ter contribuído para aliviar parte das tensões desenvolvidas na secagem, reduzindo as diferenças nas propriedades acústicas eventualmente causadas pelos tratamentos.

Slooten & Souza (1993), em estudo realizado para determinar as propriedades acústicas de madeiras amazônicas, obtiveram, para a madeira de marupá,

Tabela 2. Frequência de ressonância e decaimento logarítmico determinados para a madeira de marupá seca em estufa e ao ar livre.

Table 2. Natural frequency of vibration and logarithmic decrement for kiln-dried and air-dried marupá wood.

Tratamento	Número de amostras	Frequência de ressonância (Hz)		Decaimento logarítmico		Massa específica aparente (g/cm ³)		Teor de umidade (%)	
		Média *	Desvio padrão	Média *	Desvio padrão	Média *	Desvio padrão	Média *	Desvio padrão
Madeira seca em estufa	10	160,33 ^a	10,45	0,0228 ^a	0,001	0,39	0,02	11,17	0,23
Madeira seca ao ar livre	10	156,28 ^a	7,43	0,0238 ^a	0,001	0,42	0,09	11,84	0,20

* Os valores de média assinalados com letras iguais não diferem significativamente entre si a 2,5%.

uma frequência de ressonância de 170 Hz e um decaimento logarítmico de 0,021, enquanto que, neste trabalho, tanto para a madeira seca em estufa como para a seca ao ar livre, os valores de frequência de ressonância e de decaimento logarítmico determinados foram, respectivamente, inferiores e superiores. Essas diferenças podem ser explicadas pelas massas específicas de 0,39 g/cm³, determinada para a madeira seca em estufa, e de 0,42 g/cm³, para a madeira seca ao ar livre, com teores de umidade, respectivamente, de 11,17% e 11,84%. Slooten & Souza (1993) obtiveram uma massa específica de 0,43 g/cm³ a 12% de teor de umidade. De acordo com Brown et al. (1952), o aumento do teor de umidade da madeira tende a diminuir a velocidade de propagação do som, pois a água adsorvida reduz a elasticidade da madeira e aumenta sua densidade.

Conclusões

Os métodos de secagem utilizados, convencional e ao ar livre, não alteraram significativamente as propriedades acústicas da madeira de marupá testada.

As amostras de madeira de marupá, submetidas à secagem em estufa e ao ar livre, apresentaram moderada tendência ao endurecimento superficial forte e médio, respectivamente, indicando que o tempo de acondicionamento na secagem em estufa foi insuficiente para aliviar as tensões desenvolvidas, e que as condições de temperatura e umidade relativa na secagem ao ar livre foram muito severas.

O valor médio do decaimento logarítmico das amostras de madeira de marupá seca em estufa diminuiu, sugerindo uma provável melhora na performance dessa madeira, quando utilizada na fabricação de tampos de instrumentos musicais de corda. Entretanto, essa redução no valor do decaimento logarítmico não foi significativa a 2,5% de probabilidade.

Os parâmetros acústicos estudados, frequência de ressonância e decaimento logarítmico, são os mais importantes e não tenham apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. Entretanto, há outros parâmetros que não foram avaliados nesta

pesquisa e que, interagindo, podem conferir características distintas entre instrumentos musicais confeccionados com madeira seca em estufa ou ao ar livre, que podem ser percebidas por um *luthier* experiente e com grande sensibilidade auditiva. Para estudos futuros, recomenda-se não só a avaliação das propriedades acústicas da madeira seca em estufa e seca ao ar livre, como também de instrumentos musicais confeccionados com a madeira submetida a esses tipos de secagem.

Referências Bibliográficas

BROWN, H.P.; PANSIN, A.J.; FORSAITH, C.C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1952. 2 v. 384 p. il.

GILBERT, A. **The steel string guitar**. Canberra: ANU Forestry, 1999. Disponível em: <<http://sres.anu.edu.au/associated/ftp/nwfp/guitarsteel/guitar.html>>. Acesso em: 22 abr. 2004.

LONGWOOD, F.R. **Present and potential commercial timbers of the Caribbean**: with special reference to the West Indies, the Guianas, and British Honduras. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, 1962. 167 p. (USDA. Agriculture Handbook, 207).

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F. da; ALENCAR, J. da C. **Essências madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 1979. v. 2. 187 p.

MARTINS, V.A. **Secagem de madeira serrada**. Brasília: IBDF/DPq/LPF, 1988. 56 p. il.

MARTINS, V.A.; TEIXEIRA, P.S. das D.; SILVA, S.J.C.; SANTIAGO, A.J.S.; ESPÍRITO SANTO, C.V. do; MAFRA FILHO, H. das. A. **Secagem de Madeiras ao ar livre na região do Distrito Federal**. São Paulo: ABPM, 1985. 16 p. il. (ABPM. Boletim ABPM, 35).

MIMS, T. Music from the trees. **Alabama's TREASURED Forests**, Alabama, v. 20, n. 2, p. 22-23, jan. 2001. Disponível em: <http://www.forestry.state.al.us/publicatin/TF_publications/forest_products_articles_index.htm>. Acesso em: 22 abr. 2004.

SLOOTEN, H.J. van der; SOUZA, M.R. de. **Avaliação das espécies madeireiras da Amazônia selecionadas para a manufatura de instrumentos musicais**. Manaus: INPA, 1993. 123 p.

SOUZA, M.R. de. **Classificação de madeiras para instrumentos musicais**. Brasília: IBDF/DE/LPF, 1983. 21 p. (DE. Série Técnica, 6).

WENGERT, G. **Drying wood for musical instruments**. Montrose, PA: Woodweb, 1998. Disponível em: <http://www.woodweb.com/knowledge_base/Drying_wood_for_musical_instruments.html>. Acesso em: 22 abr. 2004.

WOODWEB. **Lumber drying for musical instruments**. Montrose, PA, 2000. Disponível em: <http://www.woodweb.com/knowledge_base/Lumber_drying_for_musical_instruments.html>. Acesso em: 22 abr. 2004.