

Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras

Clustering of forest species by univariate and multivariate analysis of anatomical, physical and chemical characteristics of wood

Moisés Silveira Lobão¹, Vinícius Resende de Castro², Alisson Rangel³, Camila Sarto⁴, Mario Tomazello Filho⁵, Francides Gomes da Silva Júnior⁶, Lauro de Camargo Neto⁷ e Maria Aparecida Rizzato Chavez Bermudez⁸**Resumo**

No agrupamento de espécies nativas e exóticas é importante analisar conjuntamente as várias características da madeira. Neste aspecto, a análise estatística multivariada apresenta vantagens, por proporcionar a aplicação de métodos estatísticos que permitem descrever e analisar as características anatômicas, físicas e químicas da madeira. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo agrupar e identificar o potencial de uso de 12 espécies florestais pelas propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira e, posteriormente, aplicando o teste de Scott-Knott como suporte para a interpretação dos resultados. Foi analisada a madeira de 12 espécies nativas e introduzidas, determinando as características físicas (densidade básica, retratibilidade volumétrica), anatômicas (comprimento, largura e espessura de parede das fibras, diâmetro, frequência e área ocupada pelos vasos) e químicas (teor de extrativos, holocelulose e lignina total). As análises estatísticas univariadas e multivariadas indicaram que as características da madeira são eficientes para o seu agrupamento e identificação do potencial de uso. As características mais importantes da madeira na separação dos grupos de espécies florestais, pela Análise de Componentes Principais, foram o teor de holocelulose, a densidade básica e a espessura da parede das fibras no Componente 1 e a retratibilidade volumétrica, diâmetro dos vasos e o teor de extrativos totais no Componente 2.

Palavras-chave: Análise de Componentes Principais, Teste de Scott-Knott; Qualidade da madeira

Abstract

In the grouping of native and exotic species it is important to examine several wood features. In this respect, the multivariate analysis has advantages; since it provides the application of statistical methods that allow describing and analyzing the anatomical, physical and chemical wood characteristics. This work aimed at grouping and identifying the potential use of 12 forest species by their anatomical, physical and chemical wood properties and then applying the Scott-Knott test to interpret of results. Twelve native and introduced wood species were analyzed; for which physical characteristics (density, volumetric shrinkage), anatomical (length, width and fiber wall thickness, diameter, frequency and area occupied by vessels) as well as chemical (extractives total, holocellulose and lignin) were determined. The univariate and multivariate statistical analysis indicated that wood characteristics are effective for grouping and identifying for potential uses. The most important characteristics of wood in separating groups of forest species by Principal Component Analysis were: holocellulose, basic density and fiber wall thickness in Component 1 and volumetric shrinkage, vessel diameter and total extractives in Component 2.

Keywords: Principal Components Analysis, Scott-Knott Test; Wood quality.

¹Professor Adjunto do Centro de Ciências Biológicas e da Natureza da Universidade Federal do Acre (UFAC). Rodovia 364, Km 04, Campus da UFAC, Rio Branco, AC - E-mail: moises_lobao@yahoo.com.br

²Mestrando do Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). Av. Avenida Páduas Dias, 11 Independência, 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: vresende@gmail.com

³Mestrando do Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). Av. Avenida Páduas Dias, 11 Independência, 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: alissonmrangel@hotmail.com

⁴Mestranda do Programa de Pós Graduação em Recursos Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). Av. Avenida Páduas Dias, 11 Independência, 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: camisarto@hotmail.com

⁵Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). Av. Avenida Páduas Dias, 11 Independência, 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: mtomazel@esalq.usp.br

⁶Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). Av. Avenida Páduas Dias, 11 Independência, 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: fjrgomes@terra.com.br

⁷Graduando do Curso de Gestão Ambiental da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). Av. Avenida Páduas Dias, 11 Independência, 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: lauro.neto.92@hotmail.com

⁸Técnica Laboratorista do Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP). Av. Avenida Páduas Dias, 11 Independência, 13418-900 - Piracicaba, SP - E-mail: bermudez@esalq.usp.br

INTRODUÇÃO

A complexidade e a variabilidade estrutural do lenho das árvores refletem na variação das suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (RICHTER; BURGER, 1991). O conhecimento dessas propriedades possibilita a classificação e o agrupamento das espécies, pela aplicação das análises uni e multivariadas, permitindo a preconização dos usos da madeira (ARAÚJO, 2007; MAINIERI; CHIMELO, 1989; ZENID, 1997).

Dentre as características mais relevantes da madeira, destacam-se a sua anatomia, a densidade e a composição química (OLIVEIRA, 1988; RICHTER; BURGER, 1991). O valor da densidade da madeira é utilizado, normalmente, para a preconização de seu uso, sendo influenciado pela sua estrutura anatômica (dimensões celulares) e composição química (PANSHIN; De ZEEUW, 1980).

A literatura reporta os resultados de pesquisas de diferentes especialidades da ciência e tecnologia da madeira que visam agrupar as diferentes espécies através de características similares (PRESOTTI; BARRETO, 2009; ZENID, 1997). Desta forma, inúmeras publicações, como as de Brito e Barri-chelo (1977), Chimele e Alfonso (1985), Chimele e Humphreys (1992), Cordeiro *et al.*, (1995); Fedalto *et al.*, (1989), Haselein *et al.* (2004), IBDF (1985, 1988), INPA (1991) e IPT (1989, 2009), relacionadas com a caracterização tecnológica da madeira restringem-se, em geral, à análise de poucas variáveis físicas, anatômicas e químicas. Esses trabalhos indicam a importância da aplicação da análise de componentes principais e de outras metodologias, como ferramenta para a correlação de parâmetros das propriedades da madeira visando o agrupamento das espécies florestais (AYRES *et al.*, 2000; JOHNSON; WICHERN, 1988).

Os testes de comparações múltiplas apresentam, algumas vezes, resultados de difícil interpretação, recomendando-se o teste de Scott-Knott, como método de agrupamento, como alternativa eficiente na avaliação de grande número de tratamentos. Este teste tem a finalidade de separar as médias em grupos distintos, através da minimização da variação dentro dos grupos e maximização da variação entre grupos.

Pelo exposto, o presente trabalho tem como objetivo o agrupamento de 12 espécies florestais pelas propriedades física, química e anatômica da madeira, através da aplicação da análise de componentes principais, visando a preconização dos seus usos, incluindo o teste de Scott-Knott como suporte na interpretação dos resultados.

MATERIAL E MÉTODOS

Espécies florestais e coleta das amostras do lenho

No presente estudo foram analisadas a madeira de árvores de *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim), *Hymenolobium petraeum* (angelim pedra), *Ocotea porosa* (imbuia), *Aspidosperma polyneuron* (peroba rosa), *Cedrela odorata* (cedro), *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá); *Apeiba tibourbou* (pente de macaco), *Ochroma pyramidale* (pau de balsa); *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* (eucalipto), *Tabebuia serratifolia* (ipê amarelo) e *Tectona grandis* (teca). Amostras do lenho foram coletadas no DAP do tronco de 4 árvores de *Apeiba tibourbou*, *Ochroma pyramidales*, *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e *Cedrela odorata* (total de 16 árvores-amostras) ocorrentes na Reserva Experimental Catuaba, Rio Branco, AC. As amostras do lenho das árvores de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis* foram coletadas de árvores (7 anos) de plantações da Estação Experimental de Anhembi, Anhembi, SP e da Duratex S.A. de Lençóis Paulista, SP, respectivamente, de acordo com as normas da NBR/7190 (ABNT, 1997). As amostras de madeira de *Hymenolobium petraeum*, *Aspidosperma polyneuron*, *Tabebuia serratifolia*, *Ocotea porosa*, *Balfourodendron riedelianum* e de *Tectona grandis* foram coletadas na Serraria do Departamento de Ciências Florestais, da ESALQ/ USP, de acordo com as normas NBR 7190 (ABNT, 1997).

Análises das características anatômica, física e química da madeira

Na caracterização anatômica foram cortados 12 corpos de prova do lenho (cubos de 1 cm de aresta). Seis corpos de prova do lenho foram amolecidos em água à ebulição, cortadas seções finas (3 planos de estudo), com navalha de aço de micrótomo de deslize, coradas com safranina e montadas em lâminas histológicas (IAWA, 1989). Os cortes histológicos do lenho foram analisados em microscópio de luz e, em seguida, mensuradas as fibras e os vasos com o programa "Image Tool Alpha 3". Seis amostras do lenho foram cortadas em fragmentos, transferidos para tubos de ensaio com solução mace-rante (ácido acético glacial + peróxido de hidrogênio, 50/50%), mantidos em estufa (60°C, 48 h), seguindo-se a substituição da solução mace-rante por água e confeccionadas lâminas histológicas com a suspensão de fibras coradas com safranina e glicerina (IBAMA, 1992).

Na caracterização física foram confeccionados 6 corpos de prova do lenho (2x3x5 cm), saturados em água, mensuradas as dimensões (axial, radial, tangencial), obtida a massa anidra (estufa, 103±2 °C), determinando a densidade básica. Na obtenção da retratibilidade volumétrica do lenho, os corpos de prova foram mensurados (dimensões lineares) em condição saturada (umidade > PSF) e anidra (NBR/7190; ABNT, 1997).

Na análise química, 6 corpos de prova do lenho foram transformados em serragem em moinho Wiley, separando-se as frações retidas em peneira de 40/60 mesh para a análise dos extrativos totais da norma TAPPI-T 204 om-88 (TAPPI, 1996a), lignina norma TAPPI-T 222 om-88 (TAPPI, 1996b) e holocelulose (diferença da massa do lenho antes/depois dos extrativos totais e da lignina).

Análise estatística

O agrupamento das propriedades físicas, anatômicas e químicas do lenho das árvores foi realizado pela técnica de Análise de Componentes Principais, com o programa Statistica 7, analisando as covariâncias e as correlações, baseada nas raízes (ou valores) das variáveis (características da madeira) e nos vetores gerados, em matrizes simétricas, considerando as duas primeiras raízes extraídas que apresentarem os maiores autovalores. A análise de agrupamento é um conjunto de técnicas estatísticas que identificam subgrupos ou classes distintas de árvores mutuamente excludentes com base nas similaridades existentes ou dissimilaridades entre as espécies de árvores, ou seja, os mais semelhantes pertencem ao mesmo grupo e os grupos que são heterogêneos entre si, pertencem a grupos distintos. Em particular, no teste de Scott-Knott esses conceitos são aplicados após a análise de variância (ANOVA), quando existe rejeição da hipótese nula, isto é, existe diferença entre médias (PRESOTTI; BARRETO, 2009). O teste proposto por Scott e Knott (1974) tem a finalidade de separar as médias em grupos distintos, por meio da minimização da variação dentro dos grupos e maximização da variação entre grupos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises das características anatômica, física e química da madeira evidenciaram variações significativas, demonstrando sua eficácia na diferenciação das 12 espécies florestais (Tabela 1). A análise dos componentes principais dessas características da madeira das 12 espécies indica que 4 componentes explicam 83% da variabilidade, sendo que os 2 primeiros (Fatores 1 e 2) são responsáveis por 58% (Tabela 2).

Tabela 1. Caracterização das propriedades físicas, anatômicas e químicas do lenho das árvores das 12 espécies florestais.
Table 1. Characterization of physical, anatomical and chemical wood properties of 12 tree species.

Espécie	Propriedades físicas			Propriedades anatômicas					Propriedades químicas (%)			
	Identificação	Densidade básica (g/cm ³)	Retratibilidade Volumétrica (%)	Fibras (µm)			Vaso (µm; nº/mm ²)		Extrativos totais	Lignina total	Holo-celulose	
				Comprimento	Largura	Lume	Espessura de parede	Diâmetro				Frequência
<i>A. polyneuron</i>	Pe	0,62 D	15,56 C	1550 C	16,97 A	3,73 A	6,67 B	56,43 A	75,89 F	5,59 C	27,4 B	67,02 G
<i>A. tiburoubo</i>	Ap	0,29 A	13,44 B	1550 C	16,87 A	6,67 A	3,73 A	56,43 A	75,86 F	3,47 A	28,55 C	67,99 H
<i>B. riedelianum</i>	Pm	0,66 D	15,66 C	1734 C	13,26 A	5,81 A	3,73 A	52,71 A	3,42 A	6,58 C	28,36 C	65,06 F
<i>C. odorata</i>	Ce	0,40 B	20,71 D	1303 B	27,97 C	17,31 C	5,33 A	146 B	5,17 B	5,8 C	31,39 D	62,81 E
<i>E. grandis</i>	Eg	0,51 C	13,26 B	1006 A	19,85 B	11,94 B	3,95 A	121,47 B	10,51 D	4,86 B	27,15 B	67,99 H
<i>E. saligna</i>	Es	0,75 E	16,74 C	1451 C	18,43 B	5,4 A	6,52 B	145 B	8,4 C	5,82 C	37,41 F	56,76 C
<i>H. petraeum</i>	A	0,68 D	9,01 A	2150 D	22,02 B	2,91 A	9,55 C	225 C	4,3 B	20,11 F	27,94 C	51,95 B
<i>O. porosa</i>	Op	0,63 D	13,22 B	727 A	21,45 B	14,2 B	7,25 B	102,88 B	25,9 E	15,32 E	36,02 F	48,66 A
<i>O. pyramidalis</i>	Pb	0,25 A	6,27 A	1929 D	29,62 C	21,13 C	4,24 A	812,84 D	0,19 A	4,75 B	25,61 A	69,64 H
<i>S. parahyba</i>	Pa	0,30 A	12,07 B	1340 B	31,66 C	25,2 D	3,23 A	191,67 C	1,61 A	3,35 A	28,03 C	68,62 H
<i>T. grandis</i>	Tg	0,49 C	9,82 A	1531 C	19,93 B	12,56 B	3,68 A	131,67 B	13,27 D	9,74 D	31,59 D	58,68 D
<i>T. serratifolia</i>	Ip	0,86 F	14,47 C	1744 C	16,06 A	3,46 A	6,3 B	82,51 A	13,57 D	6,82 C	33,06 E	60,12 D

¹Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Scott-Knott, com significância 5% (p < 0,05).
²Means followed by same letter do not differ by Scott-Knott test, with significance 5% (p < 0,05)

Tabela 2. Autovalores e autovetores na análise multivariada por componentes principais do lenho das árvores das 12 espécies florestais.

Table 2. Eigenvalues and eigenvectors for multivariate analysis by principal components of the 12 wood tree species.

Fator	Autovalor	Variância Total (%)	Autovalor acumulado	Variância Total acumulada (%)
1	3,68	36,76	3,68	36,76
2	2,13	21,28	5,80	58,03
3	1,56	15,60	7,36	73,64
4	0,91	9,10	8,27	82,74
5	0,56	5,56	8,83	88,29
6	0,47	4,69	9,30	92,99
7	0,41	4,10	9,71	97,09
8	0,16	1,61	9,87	98,70
9	0,13	1,30	10,00	100,00

A importância das propriedades do lenho para agrupar as árvores das 12 espécies, por classe de uso, determinada através dos seus autovetores, estabelece que (i) no componente principal 1, o teor de holocelulose, a densidade básica e a espessura das fibras foram estatisticamente significativos e explicam 54,4% da variância total; (ii) no componente 2, a retratibilidade volumétrica, o diâmetro dos vasos e os extrativos totais foram significativos e explicam 63,6% da variação total desse componente principal (Tabela 3, Figura 1).

Na análise de componentes principais (ACP), os vetores relacionados às propriedades do lenho de dimensões reduzidas (ex.: frequência de vasos, comprimento das fibras) indicam atributos caracterizados pela pequena diferenciação. Por outro lado, os vetores das propriedades do lenho de grandes dimensões (ex.: holocelulose e densidade básica - quadrante 1; diâmetro dos vasos e retratibilidade volumétrica - quadrante 2) são de grande importância para explicar as variações existentes entre as espécies florestais.

A dimensão das fibras e a densidade aparente do lenho variam entre as espécies e são controladas pelo manejo florestal e pelo fator genético (ZOBEL; BUJTENEN, 1989). Ruy (1998) e Yi-Quing *et al.* (2006) observaram que a espessura

da parede das fibras tem forte correlação com a densidade básica do lenho e, desta forma, influencia nas propriedades e usos da madeira; o teor de holocelulose tem, normalmente, relação

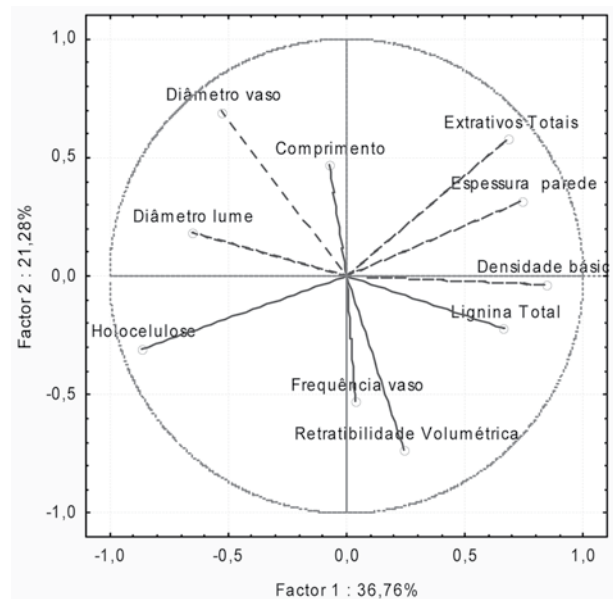


Figura 1. Análise de Componentes Principais mostrando a importância das características anatômicas, físicas e químicas da madeira na constituição dos grupos de espécies.

Figure 1. Principal Components Analysis showing the importance of the anatomical, physical and chemical wood properties for the constitution of the group of species.

Tabela 3. Contribuição das variáveis das características do lenho das árvores das 12 espécies florestais.

Table 3. Contribution of variable characteristics of the 12 wood tree species.

Variável	Peso Fator 1	Contribuição Fator 1 (%)	Peso Fator 2	Contribuição Fator 2 (%)
Comprimento fibra	-0,08	0,15	0,47	10,31
Diâmetro lume fibra	-0,65	11,61	0,18	1,54
Espessura parede fibra	0,74*	14,82*	0,32	4,69
Diâmetro vaso	-0,53	7,55	0,69*	22,59*
Frequência vaso	0,03	0,03	-0,53	13,13
Extrativos Totais	0,68	12,68	0,58*	15,73*
Lignina Total	0,66	11,99	-0,22	2,31
Holocelulose	-0,86*	20,31*	-0,30	4,36
Densidade básica	0,84*	19,25*	-0,03	0,06
Retratibilidade volumétrica	0,24	1,61	-0,73*	25,29*

*Variáveis com contribuição significativa nos fatores.

* Variables with significant contribution in the factors.

inversa com o teor de lignina e de extrativos (SANTOS, 2008; SILVA *et al.*, 2005); a retratibilidade volumétrica mostra relação inversa com o diâmetro dos vasos, sendo diretamente proporcional a densidade básica do lenho (KOLLMANN; COTÊ, 1968). A amplitude da retratibilidade é indicadora da estabilidade dimensional da madeira e de seus produtos, sendo que a razão ou coeficiente de anisotropia dos valores de retratibilidade tangencial-radial explica, normalmente, os defeitos de secagem da madeira (GONÇALEZ *et al.*, 2006).

O componente principal 1 correlaciona-se negativamente com a holocelulose e positivamente com a densidade básica e a espessura da parede das fibras, possibilitando discriminar 6 grupos de espécies (Tabela 3, Figura 2). O componente principal 2 evidencia que a retratibilidade volumétrica e a frequência dos vasos correlacionam-se negativamente, o diâmetro dos vasos e o teor de extrativos totais positivamente, indicando que exercem significativa influência na estabilidade dimensional da madeira das espécies.

A análise por componentes principais evidenciou que: 1) o 1º grupo foi constituído pela espécie *O. pyramidale*, caracteristicamente pioneira, de rápido crescimento com madeira de

densidade básica e retratibilidade volumétrica extremamente baixas e com diâmetro dos vasos e lume das fibras elevados; 2) o 2º grupo foi formado pela espécie *S. parahyba* var. *amazonicum*, que possui fibras de lume muito grande, corroborado por Lisi *et al.* (2008), Marcati *et al.* (2008) e Tomazello Filho *et al.* (2004), e elevado teor de holocelulose (BIANCHE, 2009; PEREIRA *et al.*, 1982); 3) o 3º grupo foi constituído pela espécie *A. tibourbou*, a qual apresenta um lenho de baixa densidade, grande frequência de vasos e alto teor de holocelulose (DE PAULA; ALVES, 2007; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999); 4) o 4º grupo foi formado pelas espécies *A. polyneuron*, *C. odorata*, *E. grandis*, *B. riedelianum* e *T. grandis*, que possuem valores intermediários de densidade básica, lignina e extrativos no lenho e com diferentes possibilidades de aplicação (ABNT, 1997; IPT, 1989; JANKOWSKY *et al.*, 1990; KLEIN, 1984; MAINIERI; CHIMELLO, 1989); 5) o 5º grupo foi constituído pelas espécies *E. saligna*, *T. serratifolia* e de *O. porosa*, reconhecidas por médios a altos valores de densidade básica e alto teor de lignina, conferindo-lhes boas propriedades de resistência mecânica e rigidez (ABNT, 1997; MADY, 2000; IPT, 2009; ZENID, 1997) e para *T. serratifolia* e *O. porosa*,

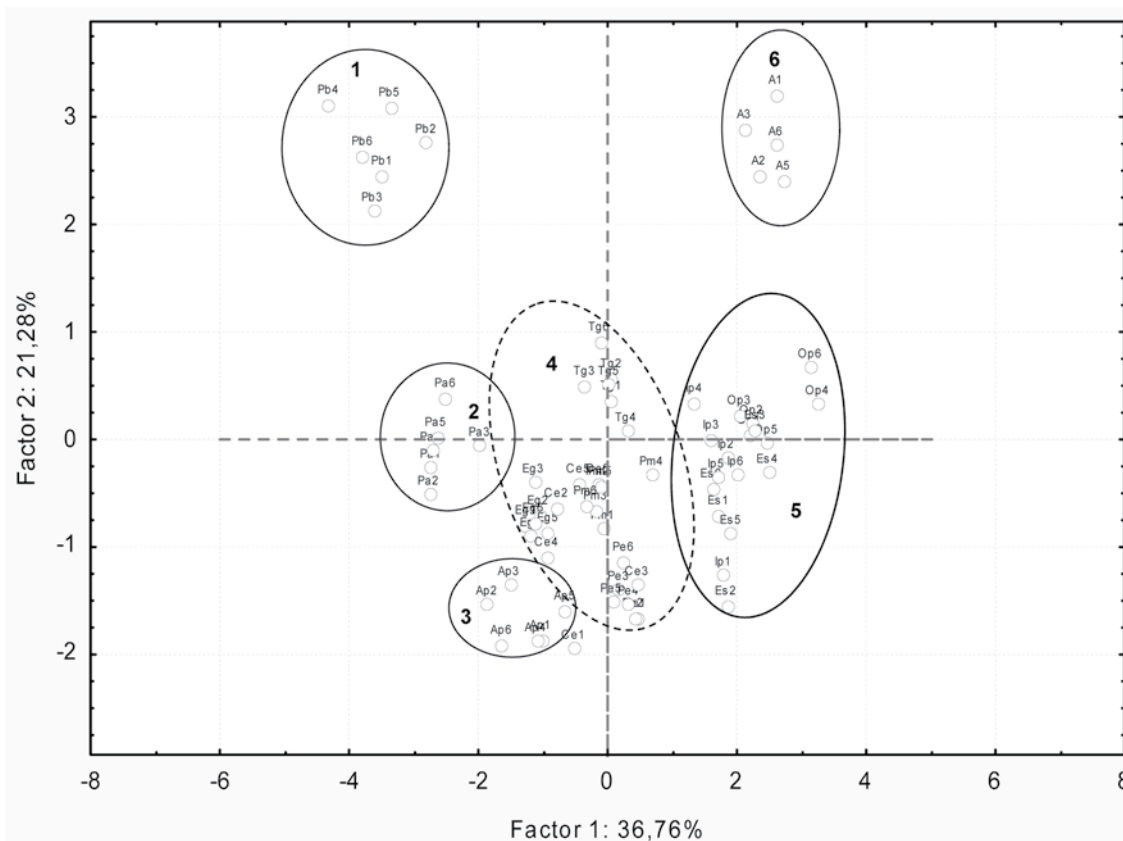


Figura 2. Análise de Componentes Principais com a indicação dos grupos de espécies constituídos pelas características anatômicas, físicas e químicas das madeiras.

Figure 2. Principal Component Analysis with the characterization of the groups of species by anatomical, physical and chemical wood properties.

grande durabilidade natural da madeira (CARVALHO, 1994; CZARNESKI *et al.*, 2001; DE PAULA e ALVES, 1997; MAEGLIN, 1991) e; 6) o 6º grupo foi constituído pela espécie *H. petraeum* com característica da madeira similar à do grupo anterior, porém, com maior teor de extrativos e menor retratibilidade volumétrica (ALVES *et al.*, 2009; ZENID, 1997).

As análises evidenciaram variações significativas das propriedades físicas (densidade básica e retratibilidade volumétrica), anatômicas (comprimento e diâmetro das fibras, diâmetro do lume, espessura de parede, diâmetro e frequência dos vasos) e químicas (teor de extrativos totais, lignina total, holocelulose) da madeira demonstrando sua eficácia no agrupamento das doze espécies florestais (Tabela 1) concordando, de modo geral, com a literatura (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; NASCIMENTO *et al.*, 1997; ZENID, 1997; SILVA *et al.*, 2005; TRUGILHO *et al.*, 2003).

A análise estatística pelo Teste Scott-Knott indicou que: i) para a densidade básica e a retratibilidade volumétrica as espécies ficaram agrupadas em 6 e 4 classes de agrupamento, respectivamente; ii) para as dimensões das fibras, ou seja, comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede das fibras em 4, 3, 4 e 3 classes, respectivamente; iii) para os elementos de vasos, ou seja, diâmetro e frequência, em 4 e 6 classes, respectivamente; iv) para o teor de extrativos totais, lignina total e holocelulose em 6, 6 e 8 classes, respectivamente (Tabela 1). A análise de componentes principais agrupou a madeira das 12 espécies em 6 grupos distintos, sendo que os grupos 4 e 5 com 5 e 3 espécies, respectivamente.

Para a separação das espécies dentro do mesmo grupo, o teste estatístico Scott-Knott possui a vantagem de ausência de ambiguidade dos testes de comparação múltipla de média. No grupo 4 para a separação da madeira de *A. polyneuron* das demais espécies, a frequência de vasos foi a variável com média mais discrepante. Nas demais espécies desse grupo (*B. riedelianum*, *C. odorata*, *E. grandis* e *T. grandis*) as variáveis com médias mais discrepantes foram a densidade básica, holocelulose, retratibilidade, largura, diâmetro do lume e comprimento das fibras, extrativos totais e teor de holocelulose, respectivamente.

O grupo 5 apresentou 3 espécies de madeira, *E. saligna*, *O. porosa*, *T. serratifolia*, com o diâmetro e frequência dos vasos, comprimento, diâmetro do lume das fibras, frequência dos vasos, teor de holocelulose, extrativos, densidade básica e

diâmetro dos vasos, respectivamente, como variáveis com médias mais discrepantes que as separaram estatisticamente pelo teste Scott-Knott.

Considerando-se as duas principais variáveis (tratamentos) do primeiro componente principal da PCA, a densidade básica e a holocelulose, verifica-se a formação de 6 grupos tanto no teste Scott-Knott quanto na PCA para a densidade básica. Para a holocelulose, o teste Scott-Knott agrupou as 12 espécies em 8 grupos, sendo que esse maior número de grupos deve-se à discrepância dos dados pela variável ser expressa em porcentagem. Da mesma forma, o teste Scott-Knott por ser uma análise univariada apresenta dificuldade para a análise conjunta das variáveis, sendo mais restrita que a PCA para realizar esse tipo de agrupamento.

O agrupamento das árvores das 12 espécies florestais pela similaridade das características da madeira permite, com suporte na literatura especializada, comparar e comprovar as aplicações dos agrupamentos (ALVES *et al.*, 2009; DE PAULA; ALVES, 2007; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999; IPT, 1989; 2009; JANKOWSKY *et al.*, 1990; KLEIN 1984; LAMPRECHT, 1990; LIMA *et al.*, 2003; LORENZI, 1992; MAINIERI; CHIMELO, 1989; MALLQUE; KIKATA, 1994; SIQUEIRA *et al.*, 2010; WENGERT, 2005; ZENID, 1997). A madeira das espécies do 1º Grupo, para a aplicação em materiais esportivos, aeromodelismo, artesanato; as dos 2º e 3º Grupos como embalagens leves, canoas, miolo de painéis e portas, formas de concreto, pasta de celulose, entre outros; as do 4º Grupo na construção civil leve, móveis, lâminas, compensado, marcenaria em geral; as dos 5º e 6º Grupos para pisos, pontes, dormentes, assoalhos, construção civil leve e pesada, entre outras aplicações.

CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir que (i) as características e os testes estatísticos da Análise de Componentes Principais (multivariada) foram mais eficientes do que o Teste Scott-Knott (univariada) no agrupamento e na preconização do uso da madeira das doze espécies; (ii) dentre as características químicas, anatômicas e físicas da madeira, o teor de holocelulose, a espessura da parede da fibra e a densidade básica, no Componente 1, e o teor de extrativos totais, o diâmetro dos vasos e retratibilidade volumétrica, no Componente 2, foram as características mais relevantes no agrupamento

das espécies pela Análise de Componentes Principais; (iii) ensaios das madeiras das espécies pouco estudadas, em situação de uso, devem ser realizados para a comprovação dos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190/97 - Projeto e Execução de Estruturas de Madeira: Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro, 107p. 1997.

ALVES, R.C.; MOTTA, J.P.; OLIVEIRA, J.T.S. Relação entre a estrutura anatômica e algumas propriedades da madeira de angelim-pedra (*Hymenolobium petraeum*, Leguminosae). **ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 13.; **ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO**, 9. 2009. São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, 2009.

ARAÚJO, H.J.B. Relações funcionais entre as propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, Curitiba, v.37, n.3, p.399-416, 2007.

AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D.L., SANTOS, A.S. **Bio Estat 2.0: aplicações estatísticas nas áreas de ciências biológicas e médicas.** Belém: Sociedade Civil Mamirauá. Brasília: CNPq, 2000. 272p.

BIANCHE, J.J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.)** 2009, 81p. Dissertação - (Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Correlações entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n.14, p.9-20, 1977.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: Embrapa CNPE, 1994. 640p.

CHIMELO, J.P.; ALFONSO, V.A. Anatomia e identificação de madeiras. In: IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada.** São Paulo: Associação Brasileira de Preservadores de Madeira, 1985. p.23-58. (Boletim ABPM, 36).

CHIMELO, J.P.; HUMPHREYS, R.D. Comparação entre as propriedades físicas, mecânicas e estereológicas para agrupamento de madeiras. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v.4, Edição especial, parte 2, p.480-490, 1992. Apresentado no CONGRESSO SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo.

CORDEIRO, L.E.; MONTEIRO, L.V.; TOMAZELLO FILHO, M. Descrição macro e microscópica das madeiras comercializadas no município de Piracicaba. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, Ribeirão Preto, 64., 1995, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: SBB; FFCLRP-USP, 1995. p.36.

CZARNESKI, C.M.; FREITAS, G.F.; CORADIN, V.T.R.; CAMARGOS, J.A.A. Estudo anatômico comparativo do lenho de quatro espécies da família Lauraceae ocorrentes na Amazônia. **Brasil Florestal**, Brasília, v.20, n.70, p.48-60, 2001.

DE PAULA, J.E.; ALVES, J.L.H. **897 Madeiras do Brasil: anatomia – dendrologia – produção – uso.** Porto Alegre: Cinco Continentes, 2007.

DE PAULA, J.E.; ALVES, J.L. H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso.** Brasília: Fundação Mokiti Okada, 1997. 543p

FEDALTO, L.C.; MENDES, I.C.A.; CORADIN, V.T.R. **Madeiras da Amazônia: descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós.** Brasília: IBAMA, 1989. 156p.

FORESTPRODUCTSLABORATORY. **Wood Handbook: wood as an engineering material.** Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1999. 463p.

GONÇALEZ, J.C ; BREDA, L.C.S. ; BARROS, J.F.M. ; MACEDO, D.G. ; JANIN, G. ; COSTA, A.F.C ; VALE, A.T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.3, p.329-341, 2006.

HASELEIN, C.R; LOPES, M.C; SANTINI, E.J; LONGHI, S.J.; ROSSO, S.; FERNANDES, D.L.G.; MENEZES, L.F. Características tecnológicas da madeira de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.2, p.145–155, 2004.

IAWA. Committee List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Utrecht, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: angiospermas e gimnospermas.** Brasília: Diretoria de incentivo à pesquisa e divulgação, 1992. 17p. (Série Técnica, 15).
- IBDF-INSTITUTOBRASILEIRODEDESENVOLVIMENTO FLORESTA. **Madeiras da Amazônia: características e utilização - Estação experimental de Curuá-Una.** Brasília, IBDF, 1988. v.2, 236p.
- IBDF - INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Identificação e agrupamento de espécies de madeiras tropicais Amazônicas: síntese.** Brasília: IBDF, 1985. 59p.
- INPA - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas.** Área da Hidrelétrica de Balbina. Manaus: INPA/CNPq, 1991. 88p.
- IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** 2ed. São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas ; SVMA, 2009.
- INPA - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA. **Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas.** Área da Hidrelétrica de Balbina. Manaus: INPA/CNPq, 1991. 88p.
- JANKOWSKY, I.P.; CHIMELO, J.P.; CAVALCANTE, A.A.; GALINA, I.C.M.; NAGAMURA, J.C.S. **Madeiras brasileiras.** Caxias do Sul: Spectrum, 1990. 171p.
- JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis.** 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 1988. 607p.
- KLEIN, R.M. **Meliáceas: Flora Ilustrada Catarinense.** Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1984.
- KOLLMANN, F.F.P.; COTÊ, W.A. **Principles of wood science and technology.** New York: Springer Verlag, 1968. v.1
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos.** Berlin: GTZ, 1990. 343p
- LIMA, S.F.; CUNHA, R.L.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, C.A.Z.; CORRÊA, F.L.O. Comportamento do paricá (*Schizolobium amazonicum* herb.) submetido à aplicação de doses de boro. *Cerne*, Lavras, v.9, n.2, p.192-204, 2003.
- LISI, C.S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; ROIG, F.A.; MARIA, V.R.B; FERREIRA-FEDELE, L.; VOIGT, A.R.A. Tree-ring formation, radial increment periodicity and phenology of tree species from a seasonal semi-deciduous forest in southeast Brazil. *IAWA Journal*, Utrecht, v.29, p.189-207, 2008.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 1992. v.1, 352 p.
- MADY, F.T.M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais.** Manaus: SEBRAE/AM, 2000. 212p.
- MAEGLIN, R.R. **Forest products from Latin America-An almanac of the state of the knowledge and the state of the art.** Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 151p. (General Techique. Report FPL-GTR, n.67)
- MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989. 418p.
- MALLQUE, M.A.; KIKATA, Y. **Atlas of Peruvian Woods: National Agrarian University La Molina – Peru e Nagoya.** Niigata : University Japan, 1994.
- MARCATI, C.R.; MILANEZ, C.R.D.; MACHADO, S.R. Seasonal development of secondary xylem and phloem in *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Leguminosae: Caesalpinioideae). *Trees*, Danvers, v.22, n.1, p.3-12, 2008.
- NASCIMENTO, C.C.; GARCIA, J.N.; DIÁZ, M.P. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. *Madera y Bosques*, Córdoba, v.3, n.1, p.33-52, 1997.
- OLIVEIRA, E. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden).** 1988, 47p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- PANSHIN, A. J.; DEZEEUW, C. **Textbook of wood technology.** 3ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722p.
- PEREIRA, A.P.; MELO, C.F.M.; ALVES, S.M. O paricá (*Schizolobium amazonicum*), características gerais da espécie e suas possibilidades de aproveitamento na indústria de celulose e papel. *Silvicultura em São Paulo*, São Paulo, v.16, parte 2, p.1340-1344, 1982. Apresentado no CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1982, Campos do Jordão.

- PRESOTTI, C.V.; BARRETO, M.C.M. Uma modificação da extensão do algoritmo AID e do Teste Scott-Knott para modelos lineares generalizados usando re-amostragem Bootstrap. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.27, n.4, p.548-585, 2009
- RICHTER, H.G.; BURGER, L.M. **Anatomia da Madeira**. 2ed. Curitiba: UFPR, 1991. 78p.
- RUY, O.F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. 1998. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1998.
- SANTOS, I.D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado 2008**. 2008. 92p. Dissertação - (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.2 p.507-512, 1974.
- SILVA, J.C.; MATOS, J.L.M.; OLIVEIRA, J.T.S. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.3, p.455-460, 2005.
- SIQUEIRA, M.M.; PEREIRA, J.C.D.; MATTOS, P.P.; SHIMIZU, J.; TEREZO, R.F.E.; SZÜCS, C.A. Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.471-480, set. 2010.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta, 1996a. v.1.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 222 om-88: acid insoluble lignin**. Atlanta, 1996b, v.1
- TOMAZELLO FILHO, M.; LISI, C.S.; HANSEN, N.; CURY, G. Anatomical features of increment zones in different tree species in the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.66, p.46-55. 2004.
- TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.9, n.1, p.84-94, 2003.
- WENGERT, G. Balsa: Lightweight wood with good strength. **Chartwell Communications**, Atlanta, v.77, n.12, 2005.
- YI-QUING, W. KAZUO, H.; YUAN, L; YINGCHUN, C.; MASATOSHI, S. Relationships of anatomical characteristics versus shrinkage and collapse properties in plantation-grown eucalypt wood from China. **Journal of Wood Science**, Madison, v.52, n.3, p.187-194, 2006.
- ZENID, G.J. **Identificação e agrupamento das madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional na cidade de São Paulo, 1997**. 169p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba 1997.
- ZOBEL, J.B.; BUJTENEN, J.P. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.

Recebido em 29/06/2011

Aceito para publicação em 01/11/2011