

COMPARAÇÃO ENTRE PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E ESTEREOLÓGICAS PARA AGRUPAMENTO DE MADEIRAS

Rubens Dias HUMPHREYS'
João Peres CHIMELO¹

RESUMO

Quarenta e quatro espécies tropicais com propriedades estereológicas, físicas e mecânicas conhecidas, foram utilizadas. Inicialmente foi feito, para cada grupo de propriedades, uma análise de componentes principais para se eliminarem observações discrepantes. Utilizaram-se, para formação dos grupos, quatro métodos hierárquicos de agrupamento: ligações simples e completas, médias ponderadas e não ponderadas, com distância Euclidiana. Quatro grupos de madeiras foram definidos através das propriedades físicas e mecânicas. Dois grupos foram definidos com as propriedades estereológicas. Concluiu-se que, do ponto de vista prático, as propriedades físicas e mecânicas são melhores para se agruparem espécies por serem diretamente correlacionadas com os usos das madeiras. Propriedades estereológicas apresentam correlação indireta com os usos das madeiras, sendo importantes sob o ponto de vista de pesquisa acadêmica.

Palavras-chave: Agrupamento de espécies, propriedades físicas, propriedades mecânicas, estereologia, anatomia quantitativa.

1 INTRODUÇÃO

O homem sempre procurou classificar as coisas que o cercam em grupos com o objetivo de facilitar o entendimento da estrutura das populações, bem como racionalizar a organização dos itens que compõem tais populações. Assim, por exemplo no âmbito das ciências biológicas (botânica, zoologia, medicina), foram criadas classificações para os seres vivos. Cada um dos grupos ou famílias criado apresenta características em comum que minimiza a variação dentro do grupo e maximiza a variação entre grupos. Este é um princípio básico dos processos de classificação.

Particularmente na área de tecnologia de madeira alguns estudos foram feitos para se classificar madeiras baseados em várias características. No estudo realizado pelo IPT em convênio com a SUDAM (SUDAM, 1981), foi feito um agrupamento de 148 espécies de madeiras tropicais da amazônia brasileira de valor co-

ABSTRACT

Forty four tropical species with known physical, mechanical and stereological properties were used. A principal components analysis was done on each group of variables, to discard outliers, before clustering the species. Four cluster methods were used: single and complete linkage, weighted and unweighted average, with Euclidean distance. Four groups were formed using physical and mechanical properties and two groups using stereological properties. It was concluded that physical and mechanical properties are better for grouping species than stereological properties since the formers are directly related to the use of the species.

Key words: Species grouping, stereology, quantitative anatomy, physical and mechanical properties of woods.

mercial, baseado em características como massa específica aparente, cor, durabilidade natural e usos finais. As espécies para este estudo foram selecionadas tendo como base informações de volume por unidade de área obtidos de relatórios de inventários florestais realizados no estado do Pará.

Para o agrupamento em função da massa específica aparente, definida como a relação entre a massa do corpo de prova seco em estufa e seu volume seco ao ar (15% de umidade), foram utilizadas três classes, a saber: madeiras leves ($d < 0,5 \text{ g/cm}^3$); madeiras médias ($0,5 \text{ g/cm}^3 \leq d \leq 0,7 \text{ g/cm}^3$) e madeiras pesadas ($d > 0,7 \text{ g/cm}^3$).

Para agrupar espécies em termos de cor, foi utilizada a cor do cerne, tendo sido definidas três classes: madeiras de cerne claro, madeiras de cerne vermelho e madeiras de cerne castanho. Em relação à durabilidade natural, as espécies foram agrupadas em duas classes bastante amplas: madeiras duráveis e madeiras não-duráveis

(1) Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

Finalmente, em relação aos usos finais, foram utilizadas quinze classes genéricas, cada uma subdividida em várias subclasses.

Em trabalho de definição de classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira, de MELO et alii, (1990), utilizou 180 espécies que foram agrupadas em função da densidade básica (massa seca em estufa/volume saturado), em três classes: madeiras leves ($d \leq 0,5 \text{ g/cm}^3$); madeiras médias ($0,51 \text{ g/cm}^3 \leq d \leq 0,72 \text{ g/cm}^3$) e madeiras pesadas ($d > 0,73 \text{ g/cm}^3$). Observa-se que esses intervalos são praticamente semelhantes aos utilizados no estudo da SUDAM, (1981).

Sob o ponto de vista prático o agrupamento de madeiras em mais de três classes, tendo como base a densidade, é conveniente. O IPT utiliza cinco classes de densidade para agrupar madeiras (WATAI, 1991): madeiras muito leves ($d \leq 0,40 \text{ g/cm}^3$); madeiras leves ($0,40 \text{ g/cm}^3 < d \leq 0,55 \text{ g/cm}^3$); madeiras medianamente pesadas ($0,55 \text{ g/cm}^3 < d \leq 0,75 \text{ g/cm}^3$); madeiras pesadas ($0,75 \text{ g/cm}^3 < d \leq 0,95 \text{ g/cm}^3$) e madeiras muito pesadas ($d > 0,95 \text{ g/cm}^3$). A densidade é a propriedade comumente utilizada para se agrupar madeiras tendo em vista sua alta correlação com propriedades mecânicas e o fato de ser referência quando se trata de caracterizar qualquer madeira ("pesada"; "leve") e também para definir seu uso (FPL, 1987; de MELO et alii, 1990; HUMPHREYS, 1991).

O presente trabalho tem como objetivo comparar propriedades físicas e mecânicas com propriedades estereológicas quando utilizadas como variáveis no agrupamento de madeiras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram utilizadas quarenta e quatro espécies de madeiras tropicais, das cinquenta e sete estudadas por CHIMÉLO (1980). Oito propriedades mecânicas, três propriedades físicas e dezessete estereológicas foram utilizadas. As observações de cada variável representam a média de três árvores ensaiadas para cada espécie. Os ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas foram feitos no Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA segundo as normas COPANT. As propriedades mecânicas consideradas foram as seguintes: módulo de ruptura à flexão estática - limite de resistência (kPa); módulo de elasticidade - flexão estática (kPa); compressão axial limite de resistência (kPa); compressão perpendicular - tensão no limite de proporcionalidade (kPa); tração perpendicular às fibras - limite de resistência (kPa); cisalhamento (kPa); durezas axial e transversal (N). As propriedades físicas consideradas foram as seguintes: densidade básica (g/cm^3) e contrações tangencial e radial (%). As propriedades estereológicas consideradas foram: diâmetro de vasos nas seções tangencial e radial (mm); média dos diâmetros de vasos ao quadrado (mm²); distância entre raios (mm); altura dos raios (mm); área média por raio (mm²); intercepto de corda radial médio (mm); número de vasos por unidade de área (mm⁻²); número de células de parênquima axial por unidade de

área (mm²); número de fibras por unidade de área (mm²); número de raios (parênquima radial) nas seções transversal e tangencial (mm²); fração de pontos para fibras; fração de pontos para parênquima axial; fração de pontos para parênquima axial e fibras; fração de pontos para todas as células parenquimáticas e fração de pontos para paredes celulares de todos os elementos.

Cada conjunto de variáveis foi tratado isoladamente. O processo de agrupamento foi feito utilizando-se quatro métodos hierárquicos de classificação ("cluster") disponíveis no programa estatístico SAEG - Sistema para Análises Estatísticas, desenvolvido pela Divisão de Informática da Fundação Arthur Bernardes da Universidade Federal de Viçosa. Estes são: ligações simples ou vizinhos mais próximos; ligações completas ou vizinhos mais afastados; ligações médias ponderadas e ligações médias não-ponderadas. Como medida de similaridade utilizada adotou-se, entre as alternativas apresentadas pelo SAEG, a distância Euclidiana, que é a mais freqüentemente utilizada nos processos de classificação (EVERITT, 1974). As variáveis utilizadas nos processos de classificação não foram padronizadas (média zero e variância um). A questão de padronização dos dados antes de se fazer uma classificação é bastante discutível.

Esse processo de transformação pode ter sérios efeitos pela diluição de diferenças entre os grupos, nas variáveis que são as melhores discriminadoras (EVERITT, 1974).

Tendo em vista que a análise de agrupamento é sensível à presença de observações discrepantes ("outliers") (EVERITT, 1974), foi feita uma avaliação prévia, antes de se fazer a análise, para detectar a presença de tais observações. O método utilizado foi através da análise de componentes principais (JOLLIFFE, 1986), feita independentemente nas variáveis estereológicas e nas propriedades físicas e mecânicas. O cálculo dos componentes principais foi feito utilizando-se o programa estatístico SOC - "Software" Científico, desenvolvido pela EMBRAPA.

Um dos problemas encontrados na detecção de observações discrepantes em uma estrutura de dados multivariados é que uma observação pode não parecer discrepante em nenhuma das variáveis originais, porém, ela ainda pode ser discrepante em virtude de não se conformar com a estrutura de correlação, com o restante das observações (JOLLIFFE, 1986). Uma análise dos últimos componentes principais, no presente caso obtidos através da decomposição de valor singular da matriz de correlação, auxilia na detecção de observações discrepantes. JOLLIFFE (1986) apresenta várias estatísticas que podem ser utilizadas para a detecção de observações discrepantes. Dentre as alternativas, optou-se por utilizar a estatística sugerida por HAWKINS (1974), denominada de d_{4i} dada pela seguinte expressão:

$$d_{4i} = \text{Max} \parallel Z_{ik}^* \parallel$$

sendo que $p - q + 1 \leq k \leq p$ e onde:

$$\parallel Z_{ik}^* \parallel = \text{valor absoluto do coeficiente do } k\text{-ésimo}$$

componente principal da i -ésima observação;
 p = número de componentes principais;
 q = número de componentes principais a serem mantidos.

No presente trabalho, o valor de q foi tomado como sendo igual ao número de componentes principais com autovalor menor que um. Sendo assim, nove observações foram eliminadas das quarenta e quatro, do grupo das propriedades físicas e mecânicas e doze do grupo das propriedades estereológicas. As análises de agrupamento foram então realizadas em cada um dos conjuntos de variáveis após a eliminação dessas observações discrepantes.

O conjunto de dados formado pelas propriedades físicas e mecânicas das quarenta e quatro espécies de madeiras, apresenta a característica de que as propriedades mecânicas e a densidade são altamente correlacionadas. Por outro lado, as contrações radial e tangencial apresentam baixa correlação com as outras propriedades. Esta característica desse grupo de dados faz com que as distâncias Euclidianas calculadas com os dados originais dêem maior peso para as propriedades que são altamente correlacionadas do que para as outras. Para evitar esse problema, as distâncias Euclidianas entre as observações das variáveis que compõem o grupo das propriedades físicas e mecânicas foram calculadas utilizando-se os dois primeiros componentes principais renormalizados para a mesma variância (JOLLIFFE, 1986). Este procedimento faz com que o segundo componente principal que, como será visto no item a seguir, é uma expressão das contrações radial e tangencial, explicando apenas 4,52% da variação total dos dados, tenha o mesmo peso que o primeiro componente, e não maior, como seria o caso se fossem utilizados os dados originais (JOLLIFFE, 1986). Tendo em vista que os dois primeiros componentes principais do conjunto das propriedades físicas e mecânicas expli-

cam 99,65% da variação total dos dados originais, a matriz de distância Euclidianas calculada com esses componentes, é muito próxima daquela que se obteria caso todos os componentes principais fossem utilizados.

3 RESULTADOS

3.1 Propriedades físicas e mecânicas

A TABELA 1 apresenta os dois primeiros componentes principais resultantes da matriz de correlação entre as variáveis das propriedades físicas e mecânicas. São mostradas também a variância e a porcentagem da

TABELA 1 - Componentes Principais, suas Variâncias e Porcentagens de Explicação, para Propriedades Físicas e Mecânicas

Variáveis	CP 1	CP 2
DENS	-0,3422	0,0315
MRFE	-0,3421	-0,0169
MEFE	-0,3287	0,1561
CALR	-0,3380	-0,0053
CPTP	-0,3300	-0,1231
TPLR	-0,2903	-0,1866
CISA	-0,3173	-0,2262
DURA	-0,3386	0,0159
DVRT	-0,3427	-0,0239
CONT	-0,0551	0,6757
CONR	-0,1204	0,6448
VAR	66,65	3,16
%	95,13	4,52

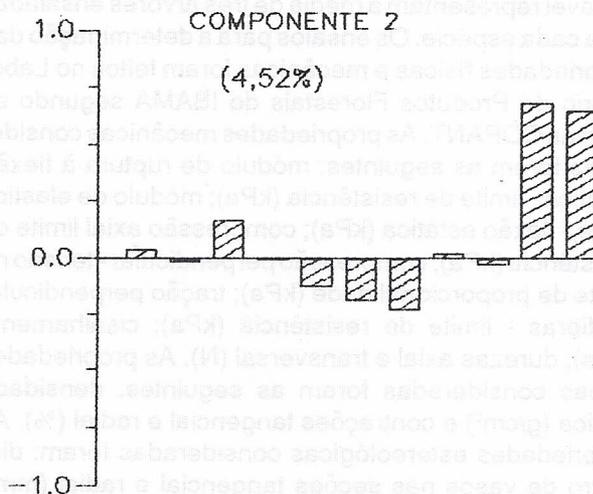
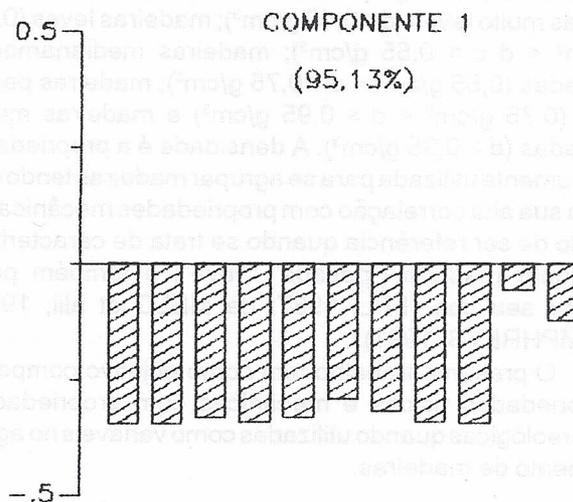


FIGURA 1 - Gráfico dos componentes principais 1 e 2 das propriedades físicas e mecânicas

TABELA 2 - Grupos formados para propriedades físicas e mecânicas

GRUPOS	ESPÉCIES	DENSIDADE BÁSICA (g/cm ³)	CONT. TANG. (%)	CONT. RAD. (%)
1	<i>Vochysia obidensis</i>	0,530	11,2	6,9
	<i>Xylopia nitida</i>	0,500	11,6	6,5
	<i>Bowdichia nitida</i>	0,867	9,2	6,5
	<i>Dinizia excelsa</i>	0,863	10,0	6,0
	<i>Vatairea sericea</i>	0,747	9,9	4,9
2	<i>Syzyopsis pachycarpa</i>	0,700	12,0	6,2
	<i>Pouteria</i> sp	0,930	9,2	5,1
	<i>Pouteria</i> sp	0,745	9,4	6,7
	<i>Licania octandra</i>	0,790	12,4	6,1
	<i>Drypetes</i> sp	0,720	10,8	5,5
	<i>Endopleura uchi</i>	0,793	9,9	6,8
	<i>Vatanea parviflora</i>	0,850	10,3	8,0
	<i>Enterolobium maximum</i>	0,405	4,7	2,4
	<i>Parkia paraensis</i>	0,413	7,3	3,1
	<i>Parkia pendula</i>	0,527	8,4	4,0
3	<i>Vochysia maxima</i>	0,477	8,6	3,6
	<i>Erisma uncinatum</i>	0,443	8,6	3,6
	<i>Couratari oblongifolia</i>	0,480	6,8	4,7
	<i>Onychopetalum</i> sp	0,530	8,6	3,2
	<i>Sterculia speciosa</i>	0,487	10,1	4,5
	<i>Didymopanax morototoni</i>	0,303	7,8	4,9
	<i>Sclerolobium</i> sp	0,630	7,9	3,8
	<i>Sclerolobium</i> sp	0,650	8,2	4,8
	<i>Hymenolobium modestum</i>	0,630	9,0	4,9
	<i>Hymenaea parviflora</i>	0,893	8,7	3,1
4	<i>Inga alba</i>	0,607	8,9	5,2
	<i>Piptadenia suaveolens</i>	0,723	7,8	4,6
	<i>Dialium guianensis</i>	0,940	7,4	4,1
	<i>Ocotea</i> sp	0,640	7,7	4,2
	<i>Aniba canelilla</i>	0,913	7,6	5,9
	<i>Eschweilera amara</i>	0,747	9,6	4,5
	<i>Clarisia racemosa</i>	0,623	7,1	3,1
	<i>Astronium lecointei</i>	0,803	7,7	4,4
	<i>Goupia glabra</i>	0,697	8,0	4,3
	<i>Glycydendron amazonicum</i>	0,687	7,5	5,5

variância total dos dados originais que é explicada por cada componente. A FIGURA 1 mostra os dois componentes principais em forma gráfica, que facilita a interpretação dos mesmos.

A TABELA 2 mostra os grupos que foram formados utilizando-se o método de ligações completas. Além das espécies, são apresentados os valores da densidade básica e das contrações tangencial e radial, para efeito de análise dos grupos formados. Para simplificar a tabela, apresentam-se somente os valores da densidade básica e não das propriedades mecânicas, tendo em vista que estas são diretamente correlacionadas com aquela. Quanto maior a densidade básica, tanto mais resistente será a madeira.

As FIGURAS 2 e 3-A mostram respectivamente o dendrograma obtido e os grupos separados no gráfico dos dois primeiros componentes principais.

3. 2 Propriedades estereológicas

A TABELA 3 mostra os cinco componentes principais da matriz de correlação que foram retidos. O critério para a seleção desses componentes foi através dos autovalores. Retiveram-se os componentes com autovalor não inferior a 1. São apresentadas também na TABELA as variâncias de cada componente e as respectivas porcentagens da variância total que cada componente

ESPÉCIES

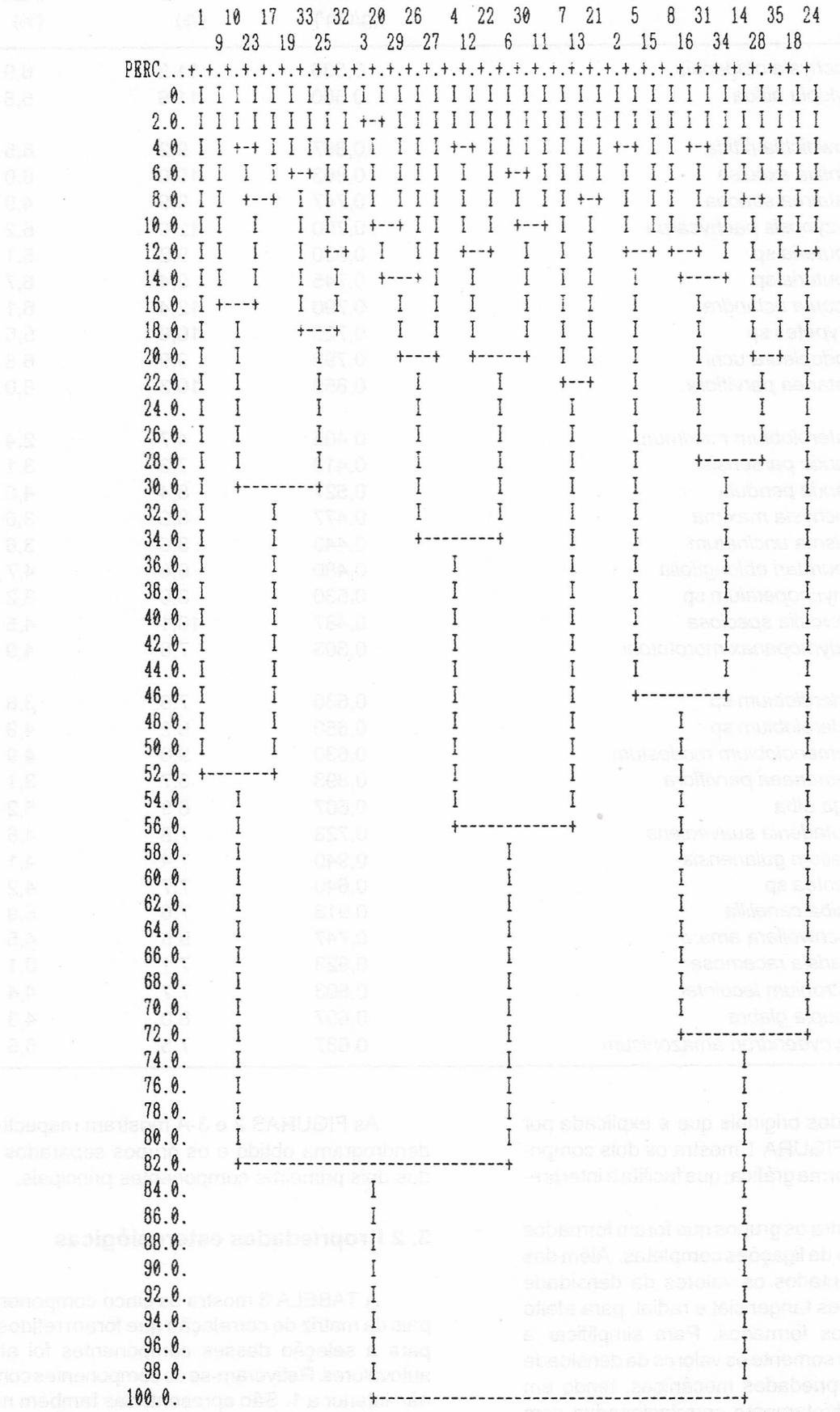


FIGURA 2 - Dendrograma para propriedades físicas e mecânicas

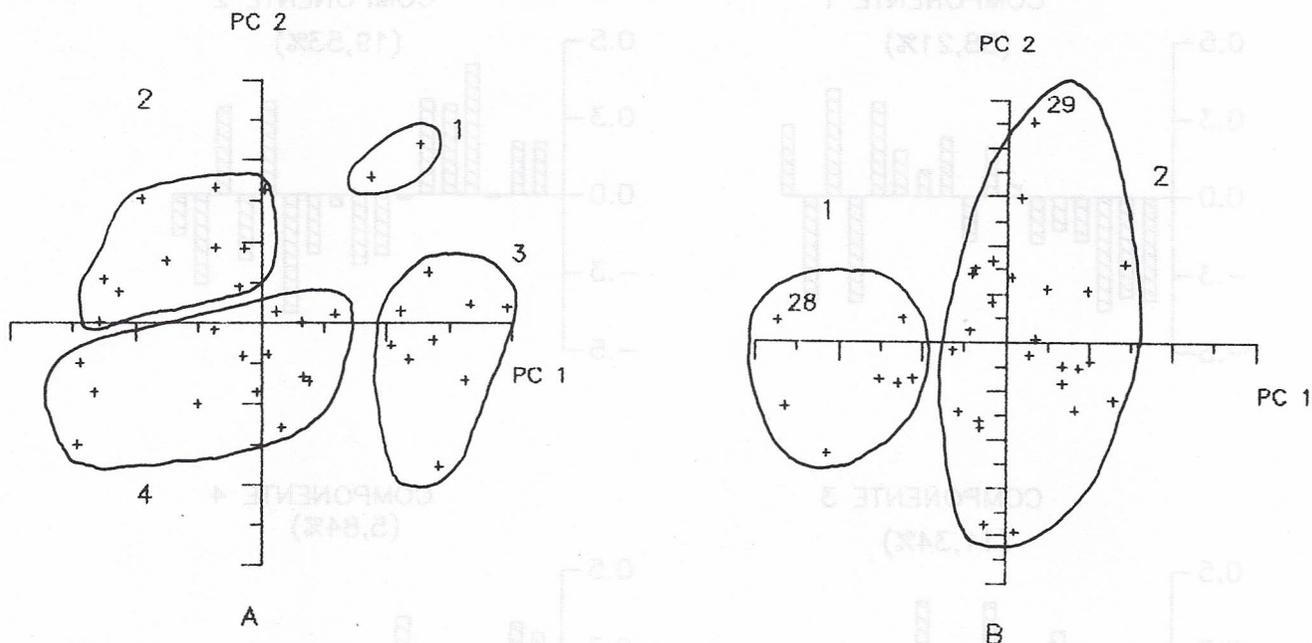


FIGURA 3 - A) Propriedades físicas e mecânicas B) Propriedades estereológicas

TABELA 3 - Componentes principais, suas variâncias e porcentagens de explicação para propriedades estereológicas

Variváveis	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5
DVST	-0,3308	0,1767	-0,1661	0,2997	-0,1192
DVSR	-0,3192	0,1756	-0,1321	0,3343	-0,1833
MDV2	-0,3624	-0,0068	-0,0405	0,2032	0,0223
DIER	-0,1415	0,4186	-0,0356	-0,2570	0,1938
ALTR	-0,1062	0,2906	0,3121	-0,2493	-0,3869
AMPR	-0,1475	0,3089	0,1988	-0,3482	-0,3680
ICRM	0,0372	-0,0136	0,1324	0,3492	-0,0271
NVAR	0,1595	-0,1929	0,4015	-0,2725	0,2673
NCPA	-0,1390	-0,2227	-0,4069	-0,3650	-0,0649
NFPA	0,1908	-0,0368	-0,4154	-0,2418	-0,3158
NRST	0,0845	-0,1897	0,4094	0,2191	-0,4282
NRTA	0,1475	-0,3816	-0,1002	0,1221	-0,1487
FPFI	0,3014	0,2978	-0,2329	0,1041	0,0144
FPPA	-0,3400	-0,2100	-0,1517	-0,1398	0,0491
FPPF	0,3431	0,2843	-0,0975	0,1123	0,0554
FPCP	-0,3406	-0,2879	0,0945	-0,1170	-0,0457
FPPC	0,2294	-0,1280	-0,1579	-0,0116	-0,4896
VAR,	32,02	10,75	6,24	3,21	1,34
%	58,21	19,53	11,34	5,84	2,44

explica. A FIGURA 4 mostra os gráficos dos cinco componentes principais.

A TABELA 4 mostra os dois grupos que foram formados mediante o método de ligações completas. As propriedades estereológicas listadas na TABELA para cada uma das espécies correspondem àquelas com os maiores valores absolutos dos autovalores. São, portanto, as variáveis mais importantes entre as consideradas

na análise. Este critério de seleção foi adotado somente para se fazer uma avaliação dos grupos formados, feita através das médias das variáveis.

As variáveis apresentadas na TABELA 4 têm as seguintes denominações: MDV² - média dos diâmetros dos vasos ao quadrado; DIER - distância entre os raios; NFPA - número de fibras por área; ICRM - intercepto de

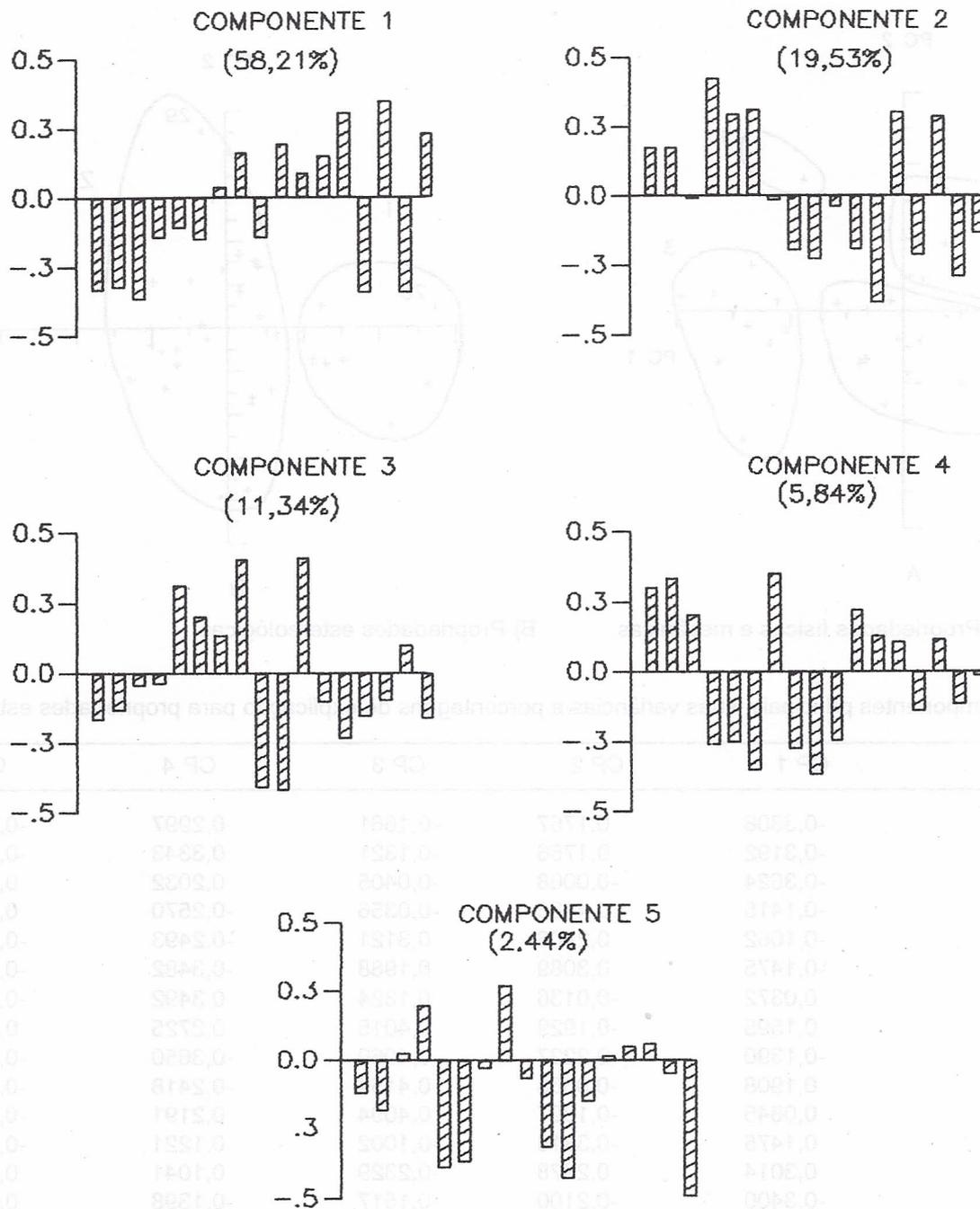


FIGURA 4 - Gráficos dos cinco componentes principais das propriedades estereológicas

corda radial médio; FPPC - fração de pontos para paredes celulares de todos os elementos.

As FIGURAS 5 e 3-B mostram, respectivamente, o dendrograma e os grupos formados, plotados no gráfico dos dois primeiros componentes principais. Ao contrário das propriedades físicas e mecânicas, os dois primeiros componentes principais obtidos da matriz de correlação das propriedades estereológicas explicam apenas 77,74% da variação total dos dados originais.

4 DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas e mecânicas

Da análise de componentes principais da matriz de correlação das propriedades físicas e mecânicas das quarenta e quatro espécies, resultaram dois componentes, que explicam 99,65% da variação total dos dados originais. Isto quer dizer que as onze variáveis físicas e mecânicas podem ser substituídas pelos dois componentes principais, com uma perda de informação muito pequena. Houve, portanto, uma redução significativa da dimensionalidade dos dados originais de onze variáveis para apenas dois componentes. Este é o objetivo em se fazer análise de componentes principais.

A interpretação desses componentes pode ser feita analisando-se a FIGURA 1, que mostra os gráficos dos dois componentes apresentados na TABELA 1. As

TABELA 4 - Grupos formados a partir das propriedades estereológicas

GRUPOS	ESPÉCIES	MDV2	DIER	NFPA	ICRN	FPPC
1	<i>Hymenolobium modestum</i>	0,0760	0,2416	1,042	0,0188	0,512
	<i>Vatairea sericea</i>	0,0387	0,2072	1,971	0,0183	0,607
	<i>Ormosia paraensis</i>	0,0611	0,1731	1,569	0,0175	0,588
	<i>Vochisia maxima</i>	0,0641	0,1682	1,674	0,0143	0,419
	<i>Vochisia obidensis</i>	0,0629	0,1965	2,307	0,0114	0,527
	<i>Erisma uncinatum</i>	0,0767	0,1430	1,417	0,0132	0,512
	<i>Sterculia speciosa</i>	0,0479	0,4346	1,933	0,0134	0,488
	MÉDIAS	0,0611	0,2235	1,702	0,0153	0,522
2	<i>Dinizia excelsa</i>	0,0248	0,2044	3,324	0,0123	0,653
	<i>Hymenaea parviflora</i>	0,0324	0,2353	2,417	0,0133	0,788
	<i>Parkia paraensis</i>	0,0343	0,1799	2,240	0,0113	0,389
	<i>Parkia pendula</i>	0,0444	0,2146	2,192	0,0131	0,499
	<i>Inga alba</i>	0,0344	0,1576	3,198	0,0123	0,625
	<i>Piptadenia suaveolens</i>	0,0185	0,1471	4,298	0,0088	0,654
	<i>Dialium guianensis</i>	0,0158	0,1432	2,847	0,0091	0,760
	<i>Syzyopsis pachycarpa</i>	0,0066	0,0921	2,220	0,0118	0,712
	<i>Pouteria</i> sp,	0,0216	0,0721	2,470	0,0095	0,665
	<i>Pouteria pomifera</i>	0,0206	0,0833	2,241	0,0105	0,657
	<i>Ocotea</i> sp	0,0327	0,1992	2,607	0,0139	0,560
	<i>Aniba canelilla</i>	0,0225	0,1230	3,327	0,0448	0,786
	<i>Eschweilera amara</i>	0,0365	0,0860	2,417	0,0013	0,677
	<i>Couratari oblongiflora</i>	0,0350	0,1267	2,634	0,0083	0,494
	<i>Lecythis usitata</i>	0,0499	0,1563	2,442	0,0114	0,689
	<i>Xylopia nitida</i>	0,0297	0,1804	2,133	0,0062	0,573
	<i>Onychopetalum</i> sp	0,0297	0,2948	2,311	0,0082	0,722
	<i>Goupia glabra</i>	0,0299	0,0918	1,055	0,0128	0,548
	<i>Glycydendron amazonicum</i>	0,1610	0,1095	2,849	0,0123	0,594
	<i>Drypetes</i> sp	0,0059	0,0863	0,988	0,0132	0,542
	<i>Malouetia</i> sp	0,0188	0,1061	1,469	0,0374	0,474
	<i>Didymopanax morototoni</i>	0,0213	0,4784	1,167	0,0091	0,300
	<i>Entopleura uchi</i>	0,0407	0,0796	2,000	0,0193	0,690
<i>Vatanea parviflora</i>	0,0355	0,0967	1,959	0,0107	0,717	
<i>Manilkara cavalcantei</i>	0,0091	0,0949	1,822	0,0178	0,533	
	MÉDIAS	0,0267	0,1536	2,345	0,0136	0,616

barras dos gráficos estão na mesma ordem das variáveis mostradas na TABELA 1.

O primeiro componente, que explica 95,13% da variação total dos dados, é uma expressão das propriedades mecânicas e da densidade básica das espécies de madeira. O segundo componente, que explica apenas 4,52% da variação total, é o componente da contração, tendo em vista que os dois maiores coeficientes correspondem às contrações tangencial e radial.

A análise de agrupamento para as propriedades físicas e mecânicas foi realizada utilizando-se os dois primeiros componentes, pelas razões citadas no item 3. Dos métodos utilizados para agrupar as quarenta e quatro observações (espécies), os de ligações completas e de médias ponderadas apresentaram o mesmo resultado final. O método de ligações simples, seguindo-se o critério de obtenção de grupos, formou dois grupos

sendo que um deles contendo apenas uma espécie e o segundo, as demais. Portanto, esta classificação foi desprezada. O método de médias não-ponderadas também apresentou um grupo com apenas uma espécie, tendo sido também descartado. O critério para a definição do número de grupos foi o da maior distância para a formação dos mesmos, observada no dendrograma. O problema com métodos de agrupamento hierárquicos é o de definir o número de grupos que se quer formar. Nos métodos não hierárquicos, por outro lado, esta decisão tem que ser tomada "a priori", uma vez que não há dendrograma.

O número de grupos, igual a quatro no presente estudo, pode ser visualizado no dendrograma da FIGURA 2, traçando-se uma linha horizontal na altura do número 64,0 do eixo Y, que define as porcentagens das

ESPÉCIES

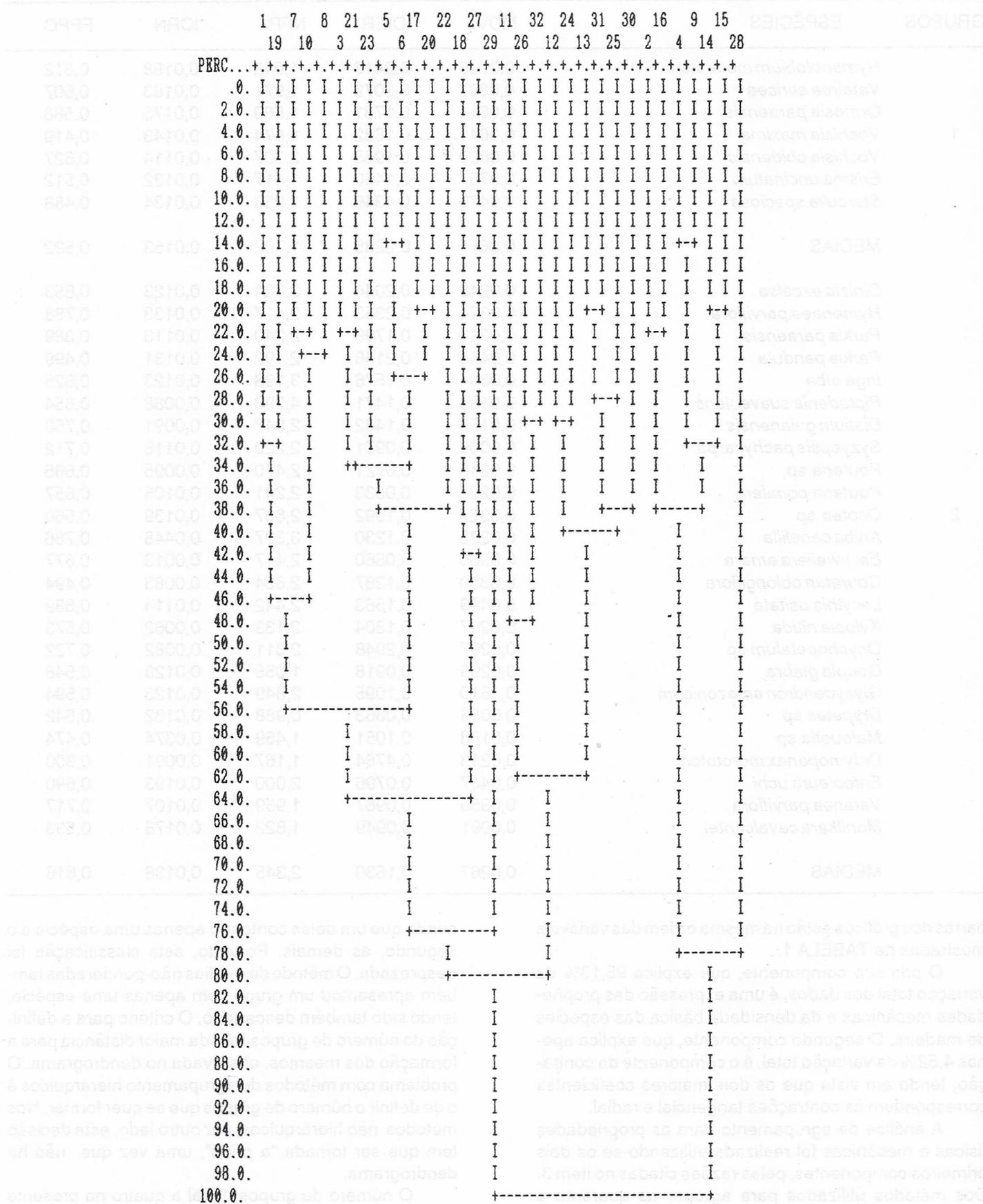


FIGURA 5 - Dendrograma para propriedades estereológicas

distâncias. Alguém poderá argüir essa decisão, argumentando que apenas dois grupos poderiam ser formados, pela distância que há para a formação dos mesmos. Portanto, optou-se pelo número de quatro grupos, por uma questão prática, de se ter maior número de alternativas para a classificação de outras espécies dentro dos grupos formados, para facilitar a seleção de espécies em função de usos.

Observando a TABELA 2, que mostra as espécies que compõem cada grupo, vê-se que o grupo 1 é composto por apenas duas espécies, e é um grupo que se destaca dos outros, como pode ser visto na FIGURA 3A. O que caracteriza essas duas espécies para se agruparem é a alta contração tangencial e a relativamente baixa contração radial. Esse grupo é bem distinto no eixo correspondente ao segundo componente principal, que é uma expressão das concentrações, e não muito bem definido no eixo do primeiro componente, confundindo-se com o grupo 3. Nota-se que em termos de propriedades mecânicas as espécies do grupo 1 são muito próximas pelos valores de suas densidades básicas.

O grupo dois destaca-se por apresentar espécies com densidade básica não inferior a 0,7 g/cm³, com valores de contração tangencial relativamente altos e contração radial próxima das espécies do grupo 1. Da mesma maneira que no grupo 1, o 2 se diferencia bem no eixo do segundo componente principal e confunde-se com o grupo 4 no eixo do primeiro componente.

O grupo 3 é composto por espécies com densidade básica baixa, portanto madeiras de menor resistência mecânica, com valores de contração radial bem baixos e contração tangencial bem inferior em relação às espécies dos grupos 1 e 2. No gráfico da FIGURA 3A, o grupo 3 confunde-se com o grupo 1 no eixo do primeiro componente e com o grupo 4, no eixo do segundo componente.

Sob o ponto de vista prático, a classificação das espécies em quatro grupos poderá ser utilizada para o desenvolvimento de um sistema de seleção de espécies de madeiras da seguinte maneira: para cada uma das variáveis que definem as propriedades físicas das espécies utilizadas, determinam-se intervalos dentro de cada grupo

Esses intervalos podem ser definidos utilizando-se o valor médio de cada variável mais ou menos um ou dois desvios padrão. Estes intervalos podem ser vistos na TABELA 5, os quais foram gerados para a densidade básica e as contrações tangencial e radial, tomando-se a média de cada grupo mais ou menos dois desvios padrão. A razão de se utilizar dois desvios padrão foi para evitar a não sobreposição das faixas

Um quinto grupo foi criado e chamado de Outros para que as espécies de madeira que não se classifiquem em nenhum dos quatro grupos sejam aí incluídas. Como pode ser observado na TABELA 5, há uma sobreposição entre os intervalos de uma mesma variável entre os grupos. Por exemplo, para a variável densidade básica, o grupo 1 está totalmente contido no grupo 3 e o grupo 2 no 4. O mesmo processo de sobreposição ocorre para as outras variáveis. Essas sobreposições entre

TABELA 5 - Faixas para a classificação de madeiras dentro de cada grupo

Grupos	Densidade básica (g/cm ³)	Cont. tang. (%)	Cont. rad. (%)
1	0,47 - 0,56	10,8 - 12,0	6,1 - 7,3
2	0,66 - 0,94	7,9 - 12,7	4,7 - 7,7
3	0,31 - 0,59	5,1 - 10,7	2,4 - 5,2
4	0,49 - 0,96	7,4 - 8,8	3,5 - 5,5
5	Outros		

grupos são inevitáveis em trabalhos desse tipo e, no presente caso, não chegam a afetar o processo de classificação, uma vez que determinada madeira será incluída em um dos grupos através da resultante da interação conjunta das três variáveis.

A forma de se evitar ou de minimizar a sobreposição entre os grupos é definir-se apenas dois grupos que seriam bem distintos no eixo do primeiro componente principal. Na realidade, a classificação de madeiras utilizando-se densidade básica e/ou propriedades mecânicas, pode ser feita com apenas dois grupos. Porém, como citado anteriormente, sob o ponto de vista prático, o maior número de grupos permite mais flexibilidade na seleção de madeiras em função dos usos que as mesmas serão submetidas. Outra forma de se evitar a sobreposição é impor, de forma arbitrária ou utilizando-se algum critério, os limites dos grupos.

4.2 Propriedades estereológicas

Observando-se a FIGURA 4, o primeiro componente principal pode ser interpretado como sendo uma expressão do diâmetro de vasos nas seções tangencial e radial, representados pelas duas primeiras barras; média dos diâmetros de vasos ao quadrado (terceira barra) e das frações de pontos para fibras, parênquima axial, parênquima axial e fibras, todas as células parenquimáticas e para paredes celulares de todos os elementos, representados pelas últimas cinco barras.

O segundo componente principal pode ser interpretado como sendo um contraste entre a distância entre raios (quarta barra) e o número de raios na seção tangencial (décima segunda barra).

O terceiro pode ser interpretado como um componente numérico de elementos anatômicos das madeiras, exprimindo um contraste entre as variáveis número de vasos por área (oitava barra), número de raios na seção transversal (décima primeira barra), e número de células de parênquima axial por unidade de área (nona barra), número de fibras por área (décima barra).

O quarto componente pode ser interpretado como sendo um contraste entre intercepto de corda radial médio (sétima barra) e área média por raio (sexta barra) e número de células de parênquima axial por unidade de

área (nona barra). Finalmente, o quinto componente pode ser interpretado como uma expressão da fração de pontos para paredes celulares de todos os elementos (décima sétima barra).

Analisando a TABELA 4, pode-se dizer que as espécies do grupo 1 são, em média, mais leves que as do grupo 2. O que caracteriza a menor densidade média daquelas espécies é a menor quantidade de material que as compõem. As espécies do grupo 1 apresentam, em média, um valor superior para a variável média do diâmetro de vaso ao quadrado (MDV2), sugerindo portanto maior espaço livre entre os elementos anatômicos. A média da distância entre os raios (DIER) para as espécies do grupo 1 é bem maior que para as espécies do grupo 2. O mesmo ocorre com o número médio de fibras por unidade de área (NFPA) e para as outras duas variáveis (intercepto de corda radial médio ICRM e fração de pontos para paredes celulares de todos os elementos - FPPC).

Observando-se o dendrograma da FIGURA 5, duas espécies chamam a atenção, as de número 28 e 29. A primeira corresponde à *Sterculia speciosa* e a segunda à *Didymopanax morototoni*. Estas duas espécies foram as que se agruparam na maior distância e, se forem formados cinco grupos, elas se tornarão isoladas. A segunda espécie é a que apresenta a menor densidade básica ($0,303 \text{ g/cm}^3$) entre as estudadas. A primeira tem uma densidade básica de $0,487 \text{ g/cm}^3$, portanto um pouco superior. O que está diferenciando essas espécies em termos estereológicos é o número de células de parênquima axial por unidade de área, que é dez vezes superior para a *S. speciosa* e o número de raios na seção transversal que é o dobro para esta espécie em relação à *D. morototoni*. Para outras propriedades estereológicas estudadas, essas duas espécies também diferenciam-se significativamente, como é o caso por exemplo do número de raios na seção tangencial que é quase quatro vezes superior para *D. morototoni*; da fração de pontos de todas as células parenquimáticas que é sete vezes superior para *S. speciosa*, etc.

Nota-se na FIGURA 3B que os dois grupos formados são bem distintos no primeiro componente principal, que explica apenas 58,21% da variação total dos dados originais, e confundem-se no segundo componente. As espécies *S. speciosa* (28) e *D. morototoni* (29) são indicadas no gráfico.

Do ponto de vista de aplicabilidade prática, o agrupamento de espécies utilizando-se como variáveis propriedades estereológicas não apresenta grande utilidade, embora algumas dessas propriedades sejam correlacionadas com propriedades mecânicas e a densidade básica de madeiras (HUMPHREYS, 1990).

5 CONCLUSÕES

Dos resultados apresentados no presente trabalho pode-se concluir que para a finalidade de agrupamento de espécies, propriedades físicas e mecânicas são mais adequadas pois estão diretamente correlacionadas com o uso das madeiras. A metodologia discutida pode ser

utilizada para se desenvolver programas de computador com o objetivo de auxiliar na seleção de espécies de madeira segundo o uso que se dará às mesmas ou para selecionar espécies alternativas para uma determinada madeira que, por exemplo, esteja com sua exploração proibida e que seja de uso tradicional.

O agrupamento de madeiras por propriedades estereológicas não apresenta muita utilidade sob o ponto de vista prático de uso das espécies, uma vez que a correlação daquelas propriedades com o uso é indireta. Isto, no entanto, não deve ser visto como um fator para não se aprofundar no estudo de propriedades estereológicas de madeiras. Do ponto de vista acadêmico, a estereologia é um campo de pesquisa bastante amplo. A inclusão de propriedades estereológicas em bancos de dados para a identificação de madeiras por computador pode ser uma alternativa interessante, uma vez que a quantificação de elementos anatômicos elimina a subjetividade de descrições qualitativas. Estudos no sentido de se determinar quais as propriedades estereológicas que seriam mais importantes para se discriminar espécies poderão ser realizados, para incluí-las em tais bancos de dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHIMELO, J. P., 1980. *Development of a probability-based computerized characterization system for identification and for property prediction of selected tropical hardwoods*. PhD Dissertation, Virginia Polytechnique Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 202 p.
- de MELO, J. E.; CORADIM, V. T. R. & MENDES, J. C., 1990. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. *IN: Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro*, Vol. 3, p. 695 - 699.
- EVERITT, B., 1974 *Cluster analysis*, Heinemann Education Books Ltd, 121 p.
- FPL, 1987 *Wood handbook: wood as an engineering material*. USDA Forest Service Agricultural Handbook 72, 466 p.
- HAWKINS, D. M., 1974. The detection of errors in multivariate data using principal components. *IN: J. American Statistical Association*, 69, p. 340 - 344
- HUMPHREYS, R. D., 1990. Propriedades estereológicas como estimadores de propriedades físicas e mecânicas de madeiras. *IN: Anais do 6º Congresso Florestal Brasileiro*, Vol. 3, p. 740 - 745.
- , 1991. Modelos para estimar propriedades mecânicas de madeira em função da densidade. *IN: Anais do III Congresso Florestal e do Meio Ambiente do Paraná*, Vol. I, p. 347 - 358.
- JOLLIFFE, I. T., 1986. *Principal component analysis*. Springer-Verlag, 271 p.
- SUDAM, 1981. *Grupamento de espécies tropicais da Amazônia por similaridade de características básicas e por utilização*. Ministério do Interior, 237 p.
- WATAI, L. T., 1991. *Cornunicação pessoal*.