

EMPREGO DE ANÁLISE MULTIVARIADA PARA ESTRATIFICAÇÃO VERTICAL DE FLORESTAS INEQUIÂNÊAS¹

Deoclides Ricardo de Souza², Agostinho Lopes de Souza³, João Ricardo Vasconcellos Gama² e Helio Garcia Leite³

RESUMO - O objetivo do presente estudo foi propor um método de estratificação vertical da floresta inequianêa, empregando técnicas de análise multivariada. Os dados de altura total foram obtidos em dez parcelas de 20 x 50 m cada, remeidas em junho de 2001. As parcelas foram instaladas na Mata da Silvicultura, em 1994, município de Viçosa (20° 45' S e 42° 55' W), Estado de Minas Gerais. As árvores individuais foram organizadas em ordem crescente de altura total, separadas em classes com amplitude de 1 m, e em seguida foi elaborada uma matriz X de dados de alturas totais, em que cada variável x_{ij} representou a altura total da i -ésima árvore classificada na j -ésima classe de altura total. Essa matriz X foi o *input* para as análises de agrupamento e discriminante. Utilizaram-se a distância euclidiana e o método de ligação completa. A aplicação da análise de agrupamento resultou em agrupamentos hierárquicos e seqüenciais, isto é, as classes de altura foram agrupadas seqüencialmente em ordem crescente. A análise do dendrograma permitiu estratificar o povoamento em três grupos distintos, denominados de estratos de altura total (*inferior, médio e superior*). A análise discriminante demonstrou que a classificação foi 100% correta. O estrato inferior reuniu 1.068 (71,63%) indivíduos arbóreos, o estrato médio 324 (21,73%) e o estrato superior 99 (6,64%). As espécies *Anadenanthera macrocarpa*, *Apuleia leiocarpa*, *Pseudopiptadenia contorta* e *Piptadenia gonoacantha* apresentaram maior densidade absoluta (DA) e distribuição regular nos três estratos. O método de estratificação empregado no presente estudo provou ser mais uma ferramenta técnica e operacionalmente viável, que pode ser empregada nas análises estruturais de florestas, principalmente para estudos fitossociológicos e para elaboração e execução de planos de manejo florestal sustentável.

Palavras-chave: Floresta secundária, estrutura vertical e análise multivariada.

MULTIVARIATE ANALYSIS FOR VERTICAL STRATIFICATION OF UNEVEN-AGED FORESTS

ABSTRACT - This study was carried out in order to propose a method for vertical stratification of trees in a heterogeneous natural forest stand with the use of multivariate analysis. Total height data were obtained from 10 permanent sample plots (each with 20 m x 50 m) (re)measured in June, 2000. Plots were established in 1994, in Viçosa (20° 45' S and 42° 55' W), Minas Gerais, Brazil. Total height data for individual trees were ranked and classified in one meter height classes. An X data matrix was organized with the total height information: each element x_{ij} represents an individual observation on the i th tree located in the j th total height classes. This X matrix was the input for both the cluster and discriminant analysis. The Euclidean distance and the complete linkage method were used. Cluster analysis produced a hierarchy of distinct sequential clusters of total height, namely: low, average and high strata. Discriminant analysis has proven that the classification was correct. Distribution of trees among all three strata were as follows: low 1.068 (71.63%); average, 324 (21.73%); and high, 99 (6.64%) individuals. *Anadenanthera macrocarpa*, *Apuleia leiocarpa*, *Pseudopiptadenia contorta* and *Piptadenia gonoacantha* presented the largest absolute density (DA) per unit area and regular distribution in the three strata. The stratification method used in this study has proven to be an operationally viable technique for structural analysis of natural forest stands as well as for planning and implementation of sustainable forest management.

Key words: Secondary forest, vertical structure, multivariate analysis.

¹ Recebido para publicação em 29.1.2002.

Aceito para publicação em 19.2.2003.

² Eng. Florestal, M.S. Doutorando em Ciência Florestal – DEF/UFV, <souzadr@hotmail.com>, <jrv gama@vicosa.ufv.br>;

³ Eng. Florestal, D.S. Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, 36571-000 Viçosa-MG, <also Souza@mail.ufv.br>, <hg leite@ufv.br>.

1. INTRODUÇÃO

Na análise estrutural de florestas inequidâneas, seja para fins de estudos fitossociológicos, seja para fins de manejo florestal, a estratificação vertical é muito importante. Dependendo da região fitoecológica, do estágio de sucessão e do estado de conservação, a estrutura florestal pode apresentar, por exemplo, sub-bosque, estrato inferior, estrato médio e estrato superior, ou pode, na maioria das vezes, não apresentar-se estratificada dessa forma. O arranjo das espécies combinado com o arranjo e o tamanho de fustes, aliado ao adensamento das copas, dentre outros, regula o balanço de energia no interior de uma floresta. É notório que florestas inequidâneas que se apresentam bem estratificadas suportam maior diversidade de biota, porque apresentam maior diferenciação de nichos (Hunter Jr., 1990), ou seja, nos estratos verticais de uma floresta natural inequidânea coexistem diferentes grupos de plantas e animais que ocupam diferentes nichos ecológicos (Hunter Jr., 1990). Portanto, a estratificação vertical da floresta influencia a riqueza, a diversidade, o crescimento e a produção de biomassa, sendo um importante indicador de sustentabilidade ambiental de uma floresta.

O número de estratos ocorrentes na floresta é uma peculiaridade do povoamento, relacionada às diferenças em composição de espécies, relações competitivas, restrições ambientais e perturbações antrópicas ou naturais (Latham et al., 1998). Para estratificar florestas inequidâneas, em termos de altura total, vários métodos têm sido propostos e empregados:

1) Classificação da IUFRO (Lamprecht, 1990), proposta por Leibundgut em 1958, que parte da altura dominante (h_{dom}) da floresta para distinguir os estratos:

$$\text{inferior } (h < \frac{h_{dom}}{3});$$

$$\text{médio } (\frac{h_{dom}}{3} \leq h < \frac{2h_{dom}}{3}); \text{ e}$$

$$\text{superior } (h \geq \frac{2h_{dom}}{3}).$$

2) Estratificação que consiste em verificar a amplitude de variação em altura dos indivíduos amostrados, a qual é dividida em três partes para definir os estratos inferior, médio e superior da floresta (Vega, 1966).

3) Estratificação que divide em três partes iguais a frequência relativa das alturas encontradas na floresta (Longhi, 1980).

4) Critério de estratificação recomendado por Souza (1990) e utilizado por Mariscal-Flores (1993), que estratifica a floresta em três estratos de altura total:

estrato inferior – compreende as árvores com altura total (H) menor que a altura média (Hm) menos uma unidade de desvio-padrão (1σ) das alturas totais, ou seja, $H < (Hm - 1\sigma)$;

estrato médio – compreende as árvores com $(Hm - 1\sigma) \leq H < (Hm + 1\sigma)$; e

estrato superior – compreende as árvores com $H \geq (Hm + 1\sigma)$.

5) Estratificação baseada na relação entre variância e média das alturas dos indivíduos arbóreos (Calegário et al., 1994).

6) Estratificação denominada de diagrama h-M (Sanqueta, 1995).

Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo propor um método de estratificação vertical da floresta heterogênea, empregando técnicas de análise multivariada.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com dados coletados em dez parcelas permanentes de 20 x 50 m cada, remeidas em junho de 2001. As parcelas foram instaladas na Mata da Silvicultura, em 1994, município de Viçosa (20° 45' S e 42° 55' W), Estado de Minas Gerais. A mata encontra-se em estágio médio de regeneração, mede aproximadamente 17 ha, e pertence à região da Floresta Estacional Semidecidual Montana (Meira Neto & Martins, 2000).

Para analisar a estrutura vertical foram selecionados os dados de alturas totais das árvores amostradas com diâmetro de tronco (dap) igual ou maior que 5,0 cm.

As árvores individuais foram organizadas em ordem crescente de altura total, classificadas em classes com amplitude de 1 m, e em seguida foi elaborada uma matriz X de dados de alturas totais, em que cada variável x_{ij} representou a altura total da i -ésima árvore classificada na j -ésima classe de altura. Essa matriz X foi o *input* para as análises de agrupamento e discriminante.

Utilizaram-se a *distância euclidiana* e o método de *ligação completa*, com o emprego das seguintes fórmulas:

$$d_{i,j} = \sqrt{\sum_{h=1}^p (X_{hi} - X_{hj})^2}, h = 1, 2, \dots, P$$

$$d_{I,J} = \max_{\substack{i \in I \\ j \in J}} d_{ij}$$

em que d_{ij} = distância euclidiana estimada entre as classes i e j ; X_{hi} = número de árvores na classe i ; e X_{hj} = número de árvores na classe j ; e $d_{I,J}$ = distância entre as médias dos grupos I e J .

Sobre o dendrograma resultante da análise de agrupamento foi traçada a linha fevon, de modo a formar três grupos distintos, que representariam os estratos inferior, médio e superior da floresta, respectivamente.

A análise discriminante foi utilizada para confirmar a distinção e classificação dos três estratos de altura total obtidos pela análise de agrupamento.

Por último, foram calculados a área basal ou dominância absoluta, o volume, a riqueza ou número de espécies (S), a diversidade máxima (H_{max}), o índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e o Coeficiente de mistura de Jentsch (QM) por estrato vertical, respectivamente.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 representa o dendrograma obtido da análise de agrupamento, apresentando na ordenada valores em porcentagem de dissimilaridade, variando de **zero** (máxima similaridade) a **100** (máxima dissimilaridade).

A análise do dendrograma (Figura 1), traçada no nível de homogeneidade de 40%, destaca três grupos de classes de altura total, doravante convenionados de estratos de altura total (**I**, **II**, **III**), em que as classes de 1 a 9 formam o estrato inferior (**I**), as classes de 10 a 16 o estrato médio (**II**) e as classes de 17 a 23 o estrato superior (**III**). Portanto, a classificação das árvores individuais em intervalo de 1 m permitiu agrupar seqüencialmente as classes de altura total (Figura 1).

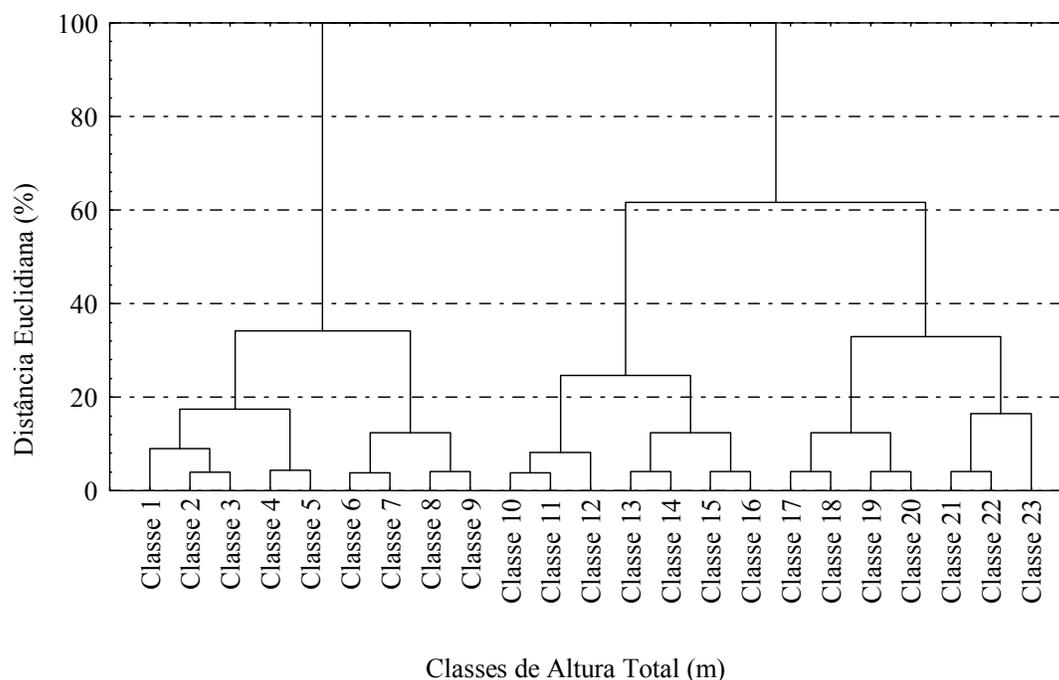


Figura 1 – Dendrograma de agrupamento de classes de altura total, obtido da análise de agrupamento utilizando o método de ligação completa e a distância euclidiana, Mata da Silvicultura, município de Viçosa, Minas Gerais.

Figure 1 – Dendrogram of total height classes, obtained from cluster analysis using complete linkage method and Euclidean distance, Silviculture forest, Viçosa, Minas Gerais.

A análise do dendrograma (Figura 1) indicou a existência de grupos homogêneos e distintos de classes de altura total, confirmando a estratificação vertical em estratos de altura total do povoamento amostrado e a flexibilidade do método proposto.

A análise discriminante entre os três estratos de altura total obtidos na análise de agrupamento mostrou diferença significativa ($F = 77,24138$) e probabilidades de 0,39130 para o estrato inferior e de 0,30435 para os estratos médio e superior (Quadro 1).

O procedimento final de classificação mostrou que 100% das classes de altura total foram corretamente classificadas nos estratos de altura total (Quadro 1).

A subdivisão da estrutura vertical da Mata da Silvicultura em estratos de altura total com o emprego da análise multivariada demonstrou ser mais um método eficiente e exequível de estratificação de florestas inequidâneas. Portanto, é mais uma ferramenta que pode ser empregada nas análises estruturais de florestas, principalmente na elaboração e execução de planos de manejo florestal sustentado.

As espécies *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, *Apuleia leiocarpa* J.F. Macbr., *Pseudopiptadenia contorta* (DC.) G.P. Lewis & M. Lima, e *Piptadenia gonoacantha* J.F. Macbr. foram as que mais se destacaram, por apresentar maior densidade absoluta e distribuição regular (ocorrência em todos os estratos). Com relação às espécies que ocorreram em apenas um estrato, destacaram-se *Siparuna arianae* V. Pereira, *Eugenia leptoclada* Berg, *Carpotroche brasiliensis* Endl., *Erythroxylum pelleterianum* A. St.-Hil. e *Melanoxylon brauna* Schott no estrato inferior; *Ocotea minarum* Mart. ex Nees e *Siparuna reginae* A.DC. no estrato médio; e *Aspidosperma* sp. no estrato superior.

O estrato inferior compreendeu as árvores com altura total de 5,0 a 14,0 m, totalizando 1.068 indivíduos (71,63%); o estrato médio englobou as árvores com altura total de 14,1 a 21,0 m, totalizando 324 indivíduos (21,73%); e o estrato superior compreendeu as árvores com altura total de 21,1 a 31,0 m, totalizando 99 indivíduos (6,64%) (Quadro 2). Esses dados mostraram que a maioria das árvores de pequeno porte predomina no estrato inferior da Mata da Silvicultura. Estas

Quadro 1 – Número de estratos de altura total e porcentagens de classificação usando o modelo discriminante 1
Table 1 – Number of total height strata of classification using discriminant model

Estrato	Classificação Prevista			Total	Classificação (%)
	Inferior (I) P = 0,39130	Médio (II) P = 0,30435	Superior (III) P = 0,30435		
Inferior (I)	9	0	0	9	100
Médio (II)	0	7	0	7	100
Superior (III)	0	0	7	7	100
Total	9	7	7	23	100

Quadro 2 – Estimativas médias de número de indivíduos (n/ha), área basal (m²/ha), volume (m³/ha), espécies (S), diversidade máxima (H_{max}), índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') e coeficiente de mistura de Jentsch (QM) por estrato de altura total para Mata da Silvicultura, município de Viçosa, Minas Gerais

Table 2 – Average estimates of number of tree (n/ha), basal area (m²/ha), volume (m³/ha), species (S), maximal diversity (H_{max}), diversity index of Shannon-Weaver (H') and coefficient of Moisture of Jentsch (QM) per total height stratum for Silviculture forest, Viçosa, Minas Gerais

Estrato	Amplitude (m)	n/ha	m ² /ha	m ³ /ha	S	H_{max}	H'	QM
Inferior (I)	5,0-14,0	1.068	6,632	48,838	125	4,828	3,710	1:09
Médio (II)	14,1-21,0	324	9,213	105,292	86	4,454	3,953	1:04
Superior (III)	21,1-31,0	99	10,628	148,132	32	3,466	2,758	1:03

* Obs: índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') da população = 3,947.

diferenças percentuais eram esperadas, uma vez que, similarmente à distribuição diamétrica em **J** - invertido, característica de floresta ineqüiânea, as classes inferiores de altura total possuem maiores números de indivíduos.

Em vista disso, o estoque de biomassa da Mata da Silvicultura está em crescimento. Caso o objetivo fosse explorar madeira para fins comerciais, seria necessário apresentar alternativas de manejo de caráter conservacionista.

Por outro lado, os resultados do Quadro 2 mostram que enquanto o n/ha e o S decrescem no sentido dos estratos inferior, médio e superior os estoques de biomassa expressos em termos de m^2/ha e m^3/ha decrescem no sentido contrário, o que se deve ao número de indivíduos com maiores diâmetros no estrato superior. O índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') mostrou alta diversidade florística para o estrato médio (3,953), quando comparada aos estratos inferior (3,710) e superior (2,758). Já o coeficiente de mistura de Jentsch (QM) decresce no sentido dos estratos superior, médio e inferior. Portanto, tem-se um fator para medir a intensidade de mistura das espécies e os possíveis problemas de manejo, dada às condições de variabilidade de espécies. E, por fim, a estratificação vertical em estratos de altura total da Mata da Silvicultura influenciou a estrutura horizontal, a produção de biomassa e a diversidade de espécies, portanto ela pode ser considerada como indicador de sustentabilidade ambiental de floresta ineqüiânea.

4. CONCLUSÕES

A amplitude de classe de altura de 1 m permite estratificar as alturas totais de árvores de floresta ineqüiânea.

As técnicas de análise estatística multivariada denominadas de “agrupamento” e “discriminante” são viáveis para estratificação vertical de floresta ineqüiânea.

Os dados de diversidade de espécies e das estruturas fitossociológica e paramétrica por meio da estratificação vertical são úteis nas análises estruturais de floresta ineqüiânea.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CALEGÁRIO, N.; SCOLFORO, J. R. S.; SOUZA, A. L. Estratificação em alturas para floresta natural heterogênea: uma proposta metodológica. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 58-63, 1994.
- FINOL, U. V. H. Nuevos parametros a considerarse en el analisis estructural de las Selvas Virgines tropicais. **Revista Florestal Venezolana**, v. 14, n. 21, p. 29-42, 1971.
- HUNTER Jr, M. L. **Wildlife forests, and forestry: principles of managing forests for biological diversity**. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. 370 p.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: Deutsche Gessells chaft für technisch Zusammenarbei (GTZ) GmbH, 1990. 343 p.
- LATHAM, P. A.; ZUURING, H. R.; COBLE, D. W. A method for quantifying vertical forest structure. **Forest Ecology and Management**, v. 104, p. 157-170, 1998.
- LONGHI, S. J. **A estrutura de uma floresta natural de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze, no sul do Brasil**. 1980. 198 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1980.
- MARISCAL-FLORES, E. J. **Potencial produtivo e alternativas de manejo sustentável de um fragmento de Mata Atlântica secundária, Município de Viçosa, Minas Gerais**. 1993. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1993.
- MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R. Estrutura da mata da silvicultura, uma floresta estacional semidecidual montana no município de Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 24, p. 151-160, 2000.
- SANQUETA, C. R. Análise da estrutura vertical de florestas através do diagrama h-M. **Ciência Florestal**, v. 5, n. 1, p. 55-68, 1995.
- SOUZA, A. L. **Estrutura, dinâmica e manejo de florestas tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 122 p. (Notas de aula).
- VEGA, C. L. Observaciones ecológicas sobre los bosques de roble de la sierra Boyoca, Columbia. **Turrialba**, v. 16, n. 3, p. 286-296, 1966.