UM MODELO DE MATRIZ DE TRANSIÇÃO PARA PROGNOSE DO CRESCIMENTO DE UM POVOAMENTO NATURAL REMANESCENTE NÃO MANEJADO DE MATA ATLÂNTICA[1]

Celso Paulo de Azevedo[2], Agostinho Lopes de Souza[3] e Renato Moraes de Jesus[4]

RESUMO - O presente estudo, efetuado numa floresta alta e densa sem interferência do ensaio de "Produção Sustentável de Floresta Atlântica" conduzido na Reserva Florestal de Linhares, Município de Linhares-ES, de propriedade da Companhia Vale do Rio Doce, apresenta os resultados do modelo de matriz de transição proposto por BUONGIORNO e MICHIE (1980). O número de árvores que ingressaram no povoamento foi estimado por regressão. O estádio sucessional do sistema foi calculado pela razão entre o autovalor dominante (λ_1) e o módulo do segundo maior autovalor da matriz de transição (λ_2). Projeções, a curto prazo, da distribuição de diâmetro e mortalidade foram feitas. Observou-se que o modelo proposto estima com exatidão o ingresso e o crescimento de povoamento sobrevivente por classe de diâmetro, subestimando a mortalidade. Os resultados indicaram que períodos mais longos de estudos devem ser tomados, principalmente para ingresso e mortalidade.

Palavras-chave: Manejo, Mata Atlântica, matriz de transição, modelos de crescimento e produção.

A TRANSITION MATRIX MODEL FOR GROWTH PREDICTION OF AN UNDISTURBED MATA ATLÂNTICA STAND

ABSTRACT - This study was carried out in a dense forest without interference (TREATMENT 01), of the Sustained Yield Experiment conducted at the Reserva Florestal de Linhares, owned by the Vale do Rio Doce Company, Linhares - Espírito Santo, Brazil. It shows the results of the transition matrix model proposed by

---

[1] Recebido para publicação em 30.03.1994.

Aceito para publicação em 31.03.1995.

[2] Dep. de Manejo Florestal, UTAM, 69050-020 Manaus-AM. [3] Dep. de Engenharia Florestal da UFV, 36571-000 Viçosa-MG. [4] Florestas Rio Doce S/A, Caixa Postal 91, 29900-000 Linhares- ES.

BUONGIORNO and MICHIE (1980). The ingrowth was estimated by regression equations. The system transition state was calculated from the ratio dominant eigenvalue and the module of the second higher eigenvalue of the transition matrix. Short-term projections were made for diameter distribution and mortality. It was observed that the proposed model accurately estimates the ingrowth and the surviving growth by diameter class, and underestimates mortality. The results suggest that longer periods of study should be carried out mainly for ingrowth and mortality purposes.

Key words: Management, Mata Atlântica, transition matrix, yield and growth model.

1. INTRODUÇÃO

Os modelos de crescimento e produção podem ser divididos, segundo DANIELS e BURKHART (1988), em três categorias: 1) modelos de povoamento total; 2) modelos de distribuição por classe de tamanho; e 3) modelos de árvores individuais.

Os modelos do tipo povoamento total fornecem estimativas do crescimento e, ou, da produção para povoamentos como um todo, sem identificar o tamanho das árvores como função de parâmetros do povoamento. Modelos do tipo árvores individuais, por outro lado, são mais pormenorizados, porque requerem particularidades de cada árvore no povoamento. O diâmetro é, freqüentimente, a variável mais utilizada, mas os modelos também incluem localização, altura e classe de copa de cada árvore individualmente. Finalmente, os modelos de classe de tamanho são aqueles que consideram o povoamento em termos de distribuição do número de árvores por unidade de área e por classe de tamanho; na maioria dos casos, o tamanho é a classe de diâmetro. Esses modelos abrangem projeção de tabelas de povoamento, função de distribuição de probabilidade, matrizes de transição e modelos de corte.

ROBERTS e HRUSKA (1986) classificaram os modelos de crescimento em diâmetro de povoamentos florestais como markovianos e não-markovianos. Os primeiros envolvem estimativas de probabilidade de transição de uma classe de diâmetro para a outra, durante dado período, ou períodos, usando-se o resultado da matriz de probabilidade de transição para projetar a distribuição de diâmetros para um tempo futuro, de acordo com o número de períodos desejados, via multiplicação de matrizes. Entretanto, existem duas pressuposições que merecem atenção à época da aplicação desses modelos.

A primeira pressuposição, definida como propriedade markoviana, requer, no caso da primeira ordem da cadeia de Markov, que os estados futuros do sistema que está sendo modelado dependam somente do estado presente. Isso significa que o processo é sem memória (ROSS, 1972), ou seja, a distribuição dos diâmetros, no futuro, dependerá somente do estado atual do povoamento e não de alguma condição anterior. A segunda pressuposição, definida como propriedade de transição estacionária, determina que as probabilidades de transição deverão permanecer constantes durante o tempo. Isso implica que a probabilidade de uma árvore crescer da classe de diâmetro "a" para a classe de diâmetro "b", durante um intervalo específico de tempo, permanece constante durante a vida do povoamento, isto é, árvores na mesma classe de diâmetro, em diferentes pontos no tempo, deverão ter a mesma taxa de crescimento.

Na maioria dos trabalhos em que essa técnica tem sido aplicada, as pressuposições são consideradas satisfeitas, mas sem comprovação matemática, ou ignoradas, em se tratando de povoamentos ineqüiâneos.

Matrizes de transição têm sido usadas na modelagem de sistemas complexos, como o desenvolvimento de povoamentos florestais naturais (USHER, 1966, 1969; BRUNER e MOSER, 1973; BUONGIORNO e MICHIE, 1980; HIGUCHI, 1987; AZEVEDO, 1993), na sucessão de populações animais (USHER, 1979) e, sem muito sucesso, na sucessão de plantas (BINKLEY, 1980; LIPPE et al., 1985).

Segundo BUONGIORNO e MICHIE (1980), as árvores do povoamento florestal podem ser divididas em número finito de classes de tamanho, n, especificado pelo diâmetro das árvores. Durante um período de crescimento θ (teta), as árvores de dada classe de diâmetro i podem permanecer na mesma classe ou avançar para uma classe maior, podendo, ainda, morrer durante o intervalo de tempo ou ser colhidas.

O objetivo deste trabalho foi utilizar o modelo de matriz de transição proposto por BUONGIORNO e MICHIE (1980) para predizer a evolução de um povoamento não manejado, com base nas probabilidades de transição constante.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido com dados provenientes do Tratamento 1 (floresta sem interferência) do ensaio de "Produção Sustentável de Floresta Atlântica" (JESUS et al., 1992), localizado na Reserva Florestal de Linhares, Município de Linhares-ES.

As árvores foram agrupadas por classe de diâmetro de 10 cm. Dessa forma, obtiveram-se 11 classes, que abrangeram desde o centro da classe de 15 cm, composta de árvores de 10 a 19,9 cm, até árvores no centro da classe de 95 cm, composta de árvores de 90 a 99,9 cm, bem como de uma classe constituída de árvores com DAP superior ou igual a 100 cm e da classe de mortalidade, selecionadas, considerando-se o erro-padrão de suas proporções (CHACKO, 1965).

As probabilidades de transição para cada intervalo de medição foram obtidas, dividindo-se o número de árvores que morreram, mudaram de classe ou permaneceram na mesma classe pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento. Assim, a distribuição diamétrica do povoamento, a ser projetada do tempo t para t+θ, e a situação do povoamento no tempo t+θ puderam ser totalmente determinadas pela situação no tempo t e pelo ingresso ocorridos no intervalo de tempo em que se usou o modelo em sua forma matricial, assim representado:

$$G = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & & & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & \cdots & & & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & \cdots & & & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & \cdots & & & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix} \; ; \quad c_i = \begin{bmatrix} \hat{I}_t \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

em que

a_i = probabilidade de que uma árvore que está viva numa classe de diâmetro i, no tempo t, mas que não é colhida no intervalo θ, permaneça viva e na mesma classe de diâmetro i, no tempo t + θ;

b_i = probabilidade de que uma árvore que está viva na classe de diâmetro i - 1, no tempo t, mas que não é colhida no intervalo θ, esteja viva e na classe de diâmetro i, no tempo t + θ;

c_i = probabilidade de que uma árvore que está viva na classe de diâmetro i - 2, no tempo t, mas que não seja colhida no intervalo θ, esteja viva e na classe de diâmetro i, no tempo t + θ; e

m_i = probabilidade de que uma árvore que está viva na classe i, no tempo t, mas que não é colhida durante o intervalo θ, esteja morta no intervalo de tempo t + θ; e θ = período de crescimento entre t_0 e t_1, em que

$$m_i = 1 - a_i - b_{i+1} - c_{i+2}, \text{ para } i = 1,\ldots, n\text{-}1; \text{ e}$$

$$m_n = 1 - a_n \text{ (última classe).}$$

O número de árvores no final do período de crescimento, em cada classe de diâmetro, é dado por:

$$\underset{\sim}{Y}_{t+\theta} = G(\underset{\sim}{y}_{it}) + \underset{\sim}{c}_1 \qquad (1)$$

$$\begin{bmatrix} y_{1t+\theta} \\ y_{2t+\theta} \\ y_{3t+\theta} \\ y_{4t+\theta} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{nt+\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & \ldots & & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & \ldots & & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & \ldots & & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & \ldots & & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \ldots & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \ldots & & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \ldots & & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ldots\; c_n & b_n & a_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \\ y_{4t} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{I}_t \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

Nessa matriz, o ingresso foi estimado pela equação $\hat{I}_t = \beta_0 + \beta_1(N_{t+\theta} - N_t)$, obtida por AZEVEDO (1993), em que $N_{t+\theta}$ e N_t são o número de árvores no final e no início do período de crescimento, respectivamente.

As matrizes de projeção de duas etapas foram obtidas a partir de (1), aplicando-se as equações de Chapman-Kolmogorov (ROSS, 1972):

- Situação do povoamento em 1986

$$\underset{\sim}{y}_{1\theta} = G\underset{\sim}{y}_0 + \underset{\sim}{c}_1 .$$

- Situação do povoamento em 1992

$$\underset{\sim}{y}_{2\theta} = G^2\underset{\sim}{y}_0 + G\underset{\sim}{c}_1 + \underset{\sim}{c}_2 .$$

- Situação do povoamento após **n** períodos de duração (Matriz de **n** etapas)

$$\underset{\sim}{y}_{n\theta} = G^n \cdot \underset{\sim}{y}_0 + \sum_{i=0}^{n-1} G^i \cdot \underset{\sim}{c}_{(n-i)} .$$

Segundo BUONGIORNO e MICHIE (1980), o estado estável da floresta é determinado a partir de (1), em que

$$\underset{\sim}{y}_{t+\theta} = \underset{\sim}{y}_t = y^* \quad \text{e} \quad \underset{\sim}{c} = \underset{\sim}{c}^*$$

sendo y^* o equilíbrio da distribuição; essa condição e a equação (1) fazem

$$\underset{\sim}{y}^* = (I - G)^{-1} \cdot \underset{\sim}{c}$$

em que I é a matriz-identidade de ordem n.

Estado estável significa que, independentemente do tempo em que o povoamento é observado, há sempre o mesmo número de árvores por hectare em cada classe de diâmetro (BUONGIORNO e GILLESS, 1987).

Os autovalores, λ_i da matriz de transição M foram determinados de acordo com BOLDRINI et al. (1978), pela expressão: det(M - λI) = 0, em que I é a matriz-identidade, de mesma ordem de M. O autovalor dominante, $\lambda_1 = 1$, e o módulo do próximo maior, λ_2, foram calculados. Esses valores proporcionaram a razão λ_1/λ_2 que, segundo USHER (1979), indica a velocidade com que o sistema se aproxima do estado climáxico.

O valor da taxa $\lambda_1\lambda_2$ foi substituído na equação de LOTKA (1956), com o objetivo de determinar o número total de árvores por hectare a ser prognosticado para o final do período de crescimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A matriz M das probabilidades de transição (a_i b_i c_i e m_i de uma etapa está representada no Quadro 1. Os números entre parênteses são os erros-padrão proporcionais médios. O erro relativo é mais acurado para menores classes de

QUADRO 1 - Matriz de probabilidade de transição (M), em que os números entre parênteses são os respectivos erros-padrão proporcionais médios

TABLE 1 - Transition probability matrix (M), where the number in parentheses are the respective mean proportional standar errors

Estado	15	25	35	45	55	65	75	85	95	≥100	M
15	0,8889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(0,0108)										
25	0,0702	0,7902	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(0,0087)	(0,0273)									
35	0	0,1563	0,7292	0	0	0	0	0	0	0	0
		(0,0243)	(0,0456)								
45	0	0	0,2292	0,8043	0	0	0	0	0	0	0
			(0,0431)	(0,0591)							
55	0	0	0	0,1304	0,7333	0	0	0	0	0	0
				(0,0502)	(0,0821)						
65	0	0	0	0,0217	0,2333	0,9474	0	0	0	0	0
				(0,0217)	(0,0785)	(0,0526)					
75	0	0	0	0	0	0	0,8000	0	0	0	0
							(0,1333)				
85	0	0	0	0	0	0	0,1000	0,5455	0	0	0
							(0,1000)	(0,1575)			
95	0	0	0	0	0	0	0,1000	0,4545	1,000		0
							(0,1000)	(0,1575)			
≥100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000	0
M	0,0409	0,0536	0,0417	0,0435	0,0333	0,0526	0	0	0	0	1,000
	(0,0068)	(0,0151)	(0,0205)	0,0304)	(0,0333)	(0,0526)					

diâmetro com alta freqüência de árvores, mas a acuracidade declina sistematicamente com o tamanho das árvores, porque existem poucas árvores grandes nos dados usados. A exatidão das predições a respeito de vários períodos depende de uma boa estimativa, que, por sua vez, depende da suficiência de dados para todas as classes de diâmetro (BRUNER e MOSER, 1973).

A matriz G é apresentada no Quadro 2. Como se pode observar neste quadro, a matriz apresentou estados absorventes ou não foi possível mover-se de determinado estado para qualquer outro (p_{ij} = 0). Conseqüentemente, não se podem fazer previsões a longo prazo nem determinar o equilíbrio da distribuição diamétrica. Assim, determinaram-se apenas a situação do povoamento em 1992 e o número médio de períodos em que as árvores permanecem em cada classe (estado) antes de serem absorvidas (PARZEN, 1962). O vetor c foi estimado pela equação de ingresso. Nesse caso, ficou evidente que o valor de c não é constante, mas variável para cada intervalo de crescimento de seis anos.

QUADRO 2 - Matriz de transição
TABLE 2 - Transition matrix

Estado	15	25	35	45	55	65	75	85	95	≥100
15	0,8889	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0,0702	0,7902	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0,1563	0,7292	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0,2292	0,8043	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0,1304	0,7333	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0,0217	0,2333	0,9474	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0	0,8000	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0,1000	0,5455	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0,1000	0,4545	1,000	0
≥100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000

A razão $|\lambda_1|/|\lambda_2|$ para a matriz de transição do Tratamento 1 (testemunha), floresta sem interferência, igual a 1 mostra que o sistema está no estado climáxico. A razão $|\lambda_1|/|\lambda_2|$ igual a 1 não significa que a população esteja estática, mas que "nascimentos e mortes" são perfeitamente balanceados (ENRIGHT e OGDEN, 1979). As árvores em determinada classe de tamanho podem permanecer na mesma classe, mudar de classe ou morrer, de acordo com as respectivas probabilidades de transição estimadas, e ainda, em algum ponto no tempo, o sistema pode retornar à distribuição de diâmetro inicial.

O número de árvores mortas, calculado a partir da estimativa das probabilidades de mortalidade(m_i) obtidas, subtraindo-se de 1 o total das colunas de G, foi estimado para todas as previsões (Quadro 3). Comparando esses resultados com aqueles obtidos por JESUS et al. (1992), nota-se que estão subestimados. Isso pode ser explicado pela matriz de transição M, na qual se observa que o período de crescimento não foi suficiente para registrar a mortalidade em todas as classes de diâmetro. Ademais, o insuficiente conhecimento do comportamento da mortalidade na vegetação estudada não possibilitou usar o artifício proposto por SOLOMON et al. (1986), em que m_i é superior ou igual a 0,005 todas as vezes que $a_i + b_i + c_i$ excedesse 0,995.

Há evidências de que a mortalidade aumenta com o decréscimo de diâmetro. SILVA (1989) encontrou correlação negativa entre mortalidade e tamanho das árvores (-0,67), enquanto GRAAF (1986) registrou que a taxa de mortalidade foi maior nas menores classes de diâmetro.

QUADRO 3 - Número de árvores mortas (n/ha) observado em 1986 (O) e projetado para 1986 e 1992 (P)

TABLE 3 - Number of dead trees (n°/ha), observed in 1986 (O) and the projections for 1986 and for 1992 (P)

Classe de Diâmetro	Tratamento 1		
	1986 O	1986 P	1992 P
15	14,0	14,0	27,7
25	4,8	4,8	9,2
34	1,6	1,6	3,1
45	0,8	0,8	1,5
55	0,4	0,4	0,8
65	0,0	0,0	0,0
75	0,0	0,0	0,0
85	0,0	0,0	0,0
95	0,0	0,0	0,0
≥100	0,0	0,0	0,0
Total	21,6	22,6	42,3

Como a matriz de transição G (Quadro 2) apresenta estados de absorção, o Quadro 4, em vez de ilustrar o equilíbrio da distribuição, mostra que o número de árvores na classe de diâmetro de 95 cm vai aumentando com o tempo e os números de árvores na classe de diâmetro superior ou igual a 100 cm se mantêm constantes, por serem estados absorventes. Uma vez atingido o estado 95, as árvores nunca mais saem dele, o que não ocorre na prática, embora isso possa ser usado como recurso para se ter uma indicação da situação da dinâmica da floresta.

QUADRO 4 - Variação no número de árvores, por hectare e por classe de diâmetro, observada em 1980 e projetada para1986, 1992, 1998, 2004, 2010, 2016, 2022, 2028, 2034 e 2040, mostrando-se os estados de absorção

TABLE 4 - Variation in number of trees (nº/ha) for each diameter class, observed in 1980 and the projections for 1986, 1992,1998, 2004, 2010, 2016, 2022, 2028, 2034, and 2040, showing the states of absortion

Classe de Diâmetro	Número de Árvores por Hectare										
	1980	1986	1992	1998	2004	2010	2016	2022	2028	2034	2040
15	342,0	340,5	307,3	288,1	271,0	255,9	242,4	230,4	219,7	210,2	201,8
25	89,6	95,8	98,8	99,6	99,0	97,2	94,8	91,9	88,8	85,6	82,4
35	38,4	42,0	45,4	48,6	51,0	52,6	53,6	53,9	53,6	53,0	52,0
45	18,4	23,6	28,6	33,4	38,0	42,3	46,1	49,3	52,0	54,1	55,7
55	12,0	11,2	11,3	12,0	13,2	14,6	16,2	17,9	19,6	21,1	22,6
65	7,6	10,4	13,0	15,6	18,3	21,2	24,4	27,9	31,7	35,7	40,0
75	4,0	3,2	2,6	2,1	1,6	1,3	1,1	0,8	0,7	0,5	0,4
85	4,4	2,8	1,9	1,3	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
95	1,2	3,6	5,2	6,3	7,1	7,6	8,1	8,4	8,6	8,8	9,0
≥100	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
Total	520,4	534,9	516,9	509,7	502,8	496,2	489,8	483,7	477,8	472,2	466,8

Dada a condição inicial do povoamento, isto é, em 1980(I), obteve-se a situação do povoamento aos seis e aos 12 anos após aquela condição, bem como o tempo médio necessário para que as árvores atingissem o estado de absorção. Como se observa no Quadro 5, o número de árvores por hectare, para cada período de observação e as projeções, segue a forma de J-invertido, não diferindo a freqüência uma da outra, exceto na menor classe de diâmetro. Segundo BUONGIORNO e MICHIE (1980), o aumento na área basal força o ingresso a declinar a níveis abaixo da taxa de mortalidade. GUTIERREZ (1970) já acreditava que as árvores cessam o crescimento nas classes menores em razão, talvez, da intensa competição pelos fatores ambientais que influenciam seu crescimento. Em particular, acredita-se que, além do

QUADRO 5 - Projeção para 1992 e tempo médio de absorção, em anos, para florestas sem interferência (em que O = Observado e P = Projetado)

TABLE 5 - The projection for 1992 and average time of absortion in years for forest without interference, in that O = Observed and P = Projection

Estado	Distribuição de Diâmetro (n/ha)				Tempo Médio de Absorção (Anos)
	1980 I	1986 O	1986 P	1992 P	
15	342,0	346,4	340,5	307,3	132,16
25	89,6	95,6	94,8	98,8	123,75
35	38,4	42,0	42,0	45,4	127,78
45	18,4	23,6	23,6	28,6	124,83
55	12,0	11,2	11,2	11,3	122,25
65	7,6	10,4	10,4	13,0	114,00
75	4,0	3,2	3,2	2,6	36,60
85	4,4	2,8	2,8	1,9	13,20
95	1,2	3,2	3,6	5,2	-
≥100	2,8	3,2	2,8	2,8	-
Total	520,4	541,6	534,9	516,2	-

aumento na área basal e da competição, parte da redução no número de árvores na menor classe de diâmetro se deve à grande dificuldade de predizer o ingresso.

A grande semelhança entre os valores observados e os prognosticados em 1986 não foi vista como validação do modelo - a qual tem que ser baseada em diferentes dados, o que aqui não foi feito - mas como indicador quantitativo da sua adequacidade. SOLOMON et al. (1986) citaram que Reynolds (1984) relatou a diferença média entre o valor atual e o valor predito, bem como o erro-padrão da diferença média, como sendo uma maneira de testar a exatidão do modelo.

4. CONCLUSÃO

Nas condições do presente trabalho e pelos resultados obtidos, extraíram-se as seguintes conclusões:

1) Considerando a aleatoriedade do crescimento em diâmetro, ingresso e mortalidade, justifica-se o uso da Cadeia de Markov ou dos modelos probabilísticos no estudo destes componentes do crescimento.

2) A razão entre o autovalor dominante e o módulo do segundo maior autovalor reflete, adequadamente, o estádio sucessional do povoamento.
3) A clássica forma de J-invertido, para distribuição dos diâmetros, mantém-se para projeção (1992).
4) Foi notado que a mortalidade tende a ser subestimada para o período de projeção, recomendando-se intervalos de crescimento (θ) maiores.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, C.P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais ineqüiâneos pelo emprego da matriz de transição**. Viçosa: UFV, 1993. 118 p. (Tese-M.S.)

BINKLEY, C.S. Is succession in hardwood forests a stationary Markov process? **Forest Science**, v.26, p.566-70, 1980.

BOLDRINI, J.L., COSTA, S.I.R., RIBEIRO, V.L.F.F., WETZLER, H.G. **Álgebra linear.** São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1978. 805 p.

BRUNER, H.D., MOSER JR., J.W. A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v.3, p.409-17, 1973.

BUONGIORNO, J., GILLESS, J.K. **Forest management and economics** - a primer in quantitative methods. New York: Macmillan, 1987. 285 p.

BUONGIORNO, J., MICHIE, B.R. A matrix model of uneven-aged forest management. **Forest Science,** v.26, p.609-25, 1980.

CHACKO, V.J. **A manual on sampling techniques for forest surveys.** Dehra Dun: P.Z.O., 1965. 172 p.

DANIELS, R.F., BURKHART, H.E. An integrated system of forest stand models. **Forest Ecology and Management,** v.23, p.159-77, 1988.

ENRIGHT, N., OGDEN, J. Applications of transition matrix models in forest dynamics: Araucaria in Papua, New Guinea e Nothofagus in New Zealand. **Australian Journalof Ecology**, v.4, p.3-23, 1979.

GRAAF, N.R. **A silvicultural system for natural regeneration of tropical rain forest in Suriname**. Wageningen: Agricultural University, 1986. 250 p.

GUTIERREZ, A.M.R. **Efecto del raleo sobre el crescimiento en area basal de un bosque secundario en el tropico humedo.** Turrialba: Instituto Interamericano de Ciencias Agricolas de la OEA, 1970. 79 p. (Tese-M.S.).

HIGUCHI, N. **Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the Brazilian Amazon**. Michigan: Michigan State University, 1987. 129 p. (Tese-D.S.).

JESUS, R.M., SOUZA, A.L., GARCIA, A. **Produção sustentável de floresta atlântica.** Viçosa: SIF, 1992. 128 p. (Documentos SIF, 7).

LIPPE, E., DE SMIDT, J.T., GLENN-LEWIN, D.C. Markov models and succession: a test from a heathland in the Netherlands. **Journal of Ecology,** v.73, p.775-91, 1985.

LOTKA, A.J. **Elements of mathematical biology**. Ney York: Dover, 1956. 413 p.

PARZEN, E. **Stochastic processes.** San Francisco, Holden-Day: 1962. 324 p.

ROBERTS, S.M., HRUSKA, A.J. Predicting diameter distributions: a test of the stationary Markov model. **Canadian Journal of Forest Research**, v.16, p.130-5, 1986.

ROSS, S.M. **Introduction to probability models**. New York: Academic Press, 1972. 267 p.

SILVA, J.N.M. **The behaviour of the tropical rain forest of Brazilian Amazon after longging**. Oxford: University of Oxford, 1989. 325p. (Tese D.S.).

SOLOMON, D.S., HOSMER, R.A., HAYSLETT JR., H.T. A two-stage matrix model for predicting growth of forest stands in the northeast. **Canadian Journal of Forest Research,** v.16, p.521-8, 1986.

USHER, M.B. A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests. **Journal Applied Ecology,** v.3, p.355-65, 1966.

USHER, M.B. A matrix model for forest management. **Biometrics**, v.25, p.309-15, 1969.

USHER, M.B. Markovian approaches to ecological succession. **Journal of Animal Ecology**, v. 48, p.413-26, 1979.

VALENTINE, H.T., FURNIVAL, G.M. Projections with ingrowth by Markov chains. **Forest Science**, v.35, p.245-50, 1989.