

Predição da produção de madeira de eucalipto em região com alta variabilidade pluviométrica

Eucalypt timber wood prediction in region with high pluviometric variability

Carlos Pedro Boechat Soares
Helio Garcia Leite

ABSTRACT: This work was carried out aiming at the prediction of the higher expected and lower expected values of annual rainfalls during a three year period, as well as the minimal, maximal and expected estimates of volume and basal area yields of *E. grandis* x *E. urophylla* stands during the same period, in the Inhambupe region, Bahia State, Brazil. Therefore, the Markov chain theory and a yield and growth model associate to annual rainfall were used. After the analysis, it was verified that the proposed model of growth and yield allows accurate estimates of volume and basal area yields for various climatic conditions. It was also found that during the three-years period there is a greater probability that annual rainfalls may occur with values around annual mean rainfall and a small probability of the occurrence of greater yields than that expected, or in other words, those estimated with mean rainfalls.

KEYWORDS: Growth and yield model, Eucalypt

RESUMO: O presente trabalho foi realizado com o objetivo de prever os valores mais esperados e os menos esperados das precipitações anuais durante um período de três anos e as estimativas esperadas, mínimas e máximas da produção em volume e em área basal de povoamentos de *E. grandis* x *E. urophylla* neste mesmo período, na região de Inhambupe, Bahia. Para isso, recorreu-se à teoria da cadeia de Markov e ao uso de um modelo de crescimento e produção associado à precipitação anual. Após as análises, verificou-se que o modelo de crescimento e produção proposto propicia estimativas precisas das produções em volume e área basal para diferentes cenários climáticos; que para um período de três anos há uma maior probabilidade de ocorrerem precipitações anuais em torno da precipitação anual média; e que há uma pequena probabilidade de ocorrerem produções maiores do que as produções esperadas, ou seja, aquelas estimadas com as precipitações médias.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de crescimento e produção, Eucalipto

INTRODUÇÃO

Normalmente, as estimativas futuras da produção florestal são feitas utilizando modelos de crescimento e produção que se baseiam em características dos povoamentos ou

de árvores individuais, não levando em consideração o efeito dos elementos climáticos sobre a produção (Davis e Johnson, 1987). Além da dificuldade quanto à obtenção dos

dados climatológicos, existem outras razões para não incluir as variáveis climáticas nos modelos de crescimento e produção, como por exemplo: problemas estatísticos relacionados à alta correlação entre as variáveis independentes do modelo; dificuldade na determinação das probabilidades de ocorrência de níveis das variáveis climáticas; a ocorrência de um regime de chuvas bem definido, com uma pequena amplitude da precipitação pluviométrica ao longo dos anos; e o período de previsão, isto é, para longos períodos de previsão há uma suavização da variabilidade climática, caracterizando um comportamento médio dos eventos climáticos.

Uma grande variação da quantidade de precipitação de ano para ano pode acarretar problemas ao planejamento e execução de diferentes atividades (plantio, tratamentos culturais, entre outros), levando a incertezas quanto às estimativas das produções futuras, haja vista a alta correlação entre a produção de madeira e a quantidade de água disponível para as plantas (Ferraz, 1993; Almeida e Soares, 1997). Regiões que apresentam esta condição climá-

tica podem ser consideradas regiões de risco para as atividades agrícolas e florestais.

Segundo Davis e Johnson (1987), em situações de risco, a melhor forma de apresentar visualmente o problema é através de uma árvore de tomada de decisão, onde a escolha de uma ação satisfatória se baseia na maximização do valor esperado da variável de interesse. No caso dos modelos de crescimento e produção, pode-se obter os valores mais prováveis ou menos prováveis da produção florestal, associando-se, além do efeito de variáveis como idade, índice de local e área basal, as probabilidades de ocorrência de níveis das variáveis climáticas ao longo do tempo e o seu efeito sobre a produção.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo prever os valores mais esperados e menos esperados das precipitações anuais ao longo de um período de tempo e as produções (esperadas, mínimas e máximas) em volume e área basal, utilizando um modelo de crescimento e produção associado à precipitação anual, fornecendo elementos para as tomadas de decisão em uma região com alta variabilidade pluviométrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no município de Inhambupe, região norte do Estado da Bahia, que apresenta alta variabilidade pluviométrica (Figura 1).

O modelo de Clutter (1963), modificado pela inclusão da variável precipitação anual defasada em um ano na equação de área basal, conforme proposto por Soares et al. (1998), foi ajustado utilizando dados de 223 parcelas permanentes do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, com idades entre 28 e 90 meses, e dados de precipitação anual de uma estação meteorológica localizada nas áreas dos plantios, pertencentes à Copener Florestal Ltda.

O modelo utilizado foi:

· Produção futura em volume

$$\ln V_2 = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 I_2^{-1} + \beta_3 \ln B_2 + \varepsilon$$

· Produção corrente e futura em área basal

$$\ln B_2 = \ln B_1 (I_1/I_2) + \alpha_0 (1 - I_1/I_2) + \alpha_1 (1 - I_1/I_2) S + \alpha_2 (1 - I_1/I_2) \ln(\text{PPTd}) + \varepsilon$$

em que

\ln = logaritmo neperiano;

S = índice de local, em metros; (idade-base: 60 meses)

B_1 = área basal corrente, em m²/ha;

V_2 = volume futuro com casca, em m³/ha;

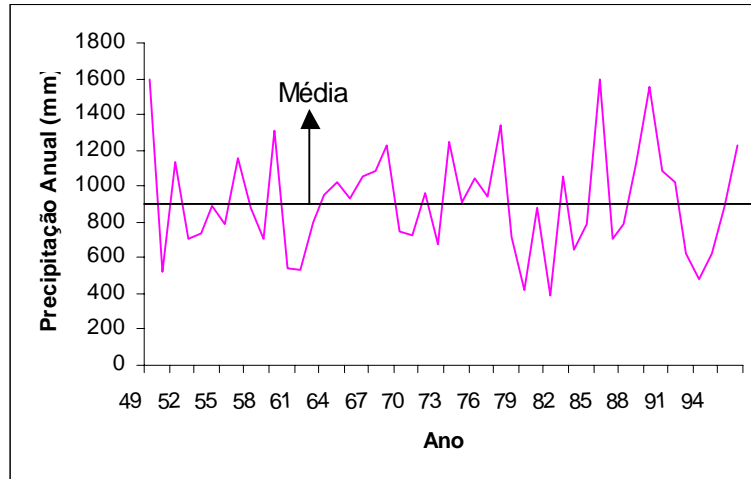


Figura 1. Precipitações anuais na região de Inhambupe, BA, Brasil.

(Annual rainfalls in the Inhambupe region, Bahia State, Brazil)

B_2 = área basal futura, em m^2/ha ;

I_1 = idade atual, em meses;

I_2 = idade futura, em meses;

PPTd = precipitação anual defasada em um ano, em mm;

e = erro aleatório;

$\beta_0 \dots \beta_3; \alpha_0 \dots \alpha_2$ = parâmetros dos modelos.

Dados históricos de precipitação anual de 1949 a 1996, da estação meteorológica pertencente ao DNAEE (Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica), também localizada no município de Inhambupe, BA, foram utilizados no cálculo das probabilidades de transição, por intermédio da teoria da Cadeia de Markov (Hiller e Lieberman, 1980). Para isto, as precipitações anuais foram divididas em quatro classes:

Classe 0 = 400 mm (mínimo observado) $\leq P < 722,5$ mm;

Classe 1 = 722,5 mm ($0,50.ETPM$) $\leq P < 1084$ mm;

Classe 2 = 1084 mm ($0,75.ETPM$) $\leq P < 1445$ mm (ETPM);

Classe 3 = 1445 mm $\leq P \leq 1600$ mm (máximo observado).

em que:

P = precipitação anual, em mm;

ETPM = evapotranspiração média anual do município de Inhambupe, BA, calculada de acordo com Thornthwaite e Matter (1955).

As probabilidades de transição foram calculadas pela seguinte expressão:

$$P_{ij} = \frac{n}{N} \quad i \text{ e } j = 0,1,2,3$$

em que

n = número de anos em que a precipitação anual mudou ou não da classe i , no tempo t , para a classe j , no tempo $t+1$;

N = número de anos de precipitação anual ocorridos na classe i .

Desta forma, definiu-se a seguinte matriz de probabilidade (P_{ij}):

Classe	0	1	2	3
0	P_{00}	P_{01}	P_{02}	P_{03}
1	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}
2	P_{20}	P_{21}	P_{22}	P_{23}
3	P_{30}	P_{31}	P_{32}	P_{33}

Com as probabilidades de transição, foram determinados, para um período de três anos, os valores mais prováveis e os menos prováveis das precipitações anuais em cada ano, pela maximização e minimização das probabilidades de transição mediante o uso de uma árvore de tomada de decisão (Davis e Johnson, 1987).

O modelo de crescimento e produção ajustado foi utilizado para estimar a produção máxima, mínima e a mais esperada em volume e

em área basal entre as idades de 66 e 90 meses. As projeções das produções, considerando índice de local (S) igual a 24,1m, área basal inicial aos 66 meses igual a 16,42 m²/ha e o centro das classes de precipitação, foram comparadas com os valores médios da produção de um talhão localizado na região do estudo, que não foi utilizado no ajuste do modelo proposto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As equações que projetam a produção em volume e em área basal para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, são:

$$\ln V_2 = 1,856393 + 0,024773S - 22,96043I_2^{-1} + 1,073680 \ln B_2$$

$$\bar{R}^2 = 0,982; CV = 1,35\%$$

$$\ln B_2 = \ln B_1(I_1/I_2) + 2,082119(1 - I_1/I_2) + 0,024959(1 - I_1/I_2)S + 0,200948(1 - I_1/I_2) \ln(\text{PPTd})$$

$$\bar{R}^2 = 0,939; CV = 3,15\%$$

Além das medidas de precisão (\bar{R}^2 e CV), verificou-se, através da Figura 2, que a equação de volume e a equação de área basal ajustaram-se bem aos dados. Além disso, todas as variáveis independentes das equações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade.

Após analisar a árvore de tomada de decisão (Figura 3), foram definidos os valores mais prováveis e os valores menos prováveis das precipitações anuais em cada ano, considerando-se os quatro estados iniciais, e, conseqüentemente, os caminhos mais prováveis para o período de três anos.

Na Tabela 1, observa-se que os caminhos mais prováveis convergem para a classe de precipitação 1 (722,5 mm ≤ P < 1084 mm). Este resultado era esperado, uma vez que a região de Inhambupe, BA apresenta precipitação mé-

dia anual de, aproximadamente, 900 mm. Quanto aos caminhos menos prováveis, verifica-se que estes tendem a convergir para as classes de precipitação 1 (722,5 mm ≤ P < 1084 mm) e 3 (1445 mm ≤ P ≤ 1600 mm), haja vista que a probabilidade de estar na classe 3 e passar para a classe 1 é 0% (zero) e de passar da classe 1 para a classe 3 é 4,76%.

De uma forma geral, os caminhos menos prováveis convergem para precipitações maiores do que as precipitações médias, indicando que existe uma pequena probabilidade de ocorrerem produções em volume e em área basal maiores do que as produções esperadas (considerando os caminhos mais prováveis).

Se ocorrerem precipitações na classe 0 (400 mm ≤ P < 722,5 mm) durante o período de três anos, esta situação caracteriza a condição mais extrema de crescimento para as plantas, definindo a estimativa mínima da produção para o período. Por outro lado, se ocorrerem precipitações na classe 3 (1445 mm ≤ P ≤ 1600 mm) durante os três anos, esta situação define a estimativa máxima da produção. Cabe salientar que as estimativas mínima e máxima da produção devem ser utilizadas com cuidado, pois a concentração das chuvas ou a sua falta em períodos longos podem levar os modelos de crescimento e produção a fornecerem estimativas imprecisas, sobretudo se essas condições não foram verificadas nos dados utilizados no ajuste do modelo.

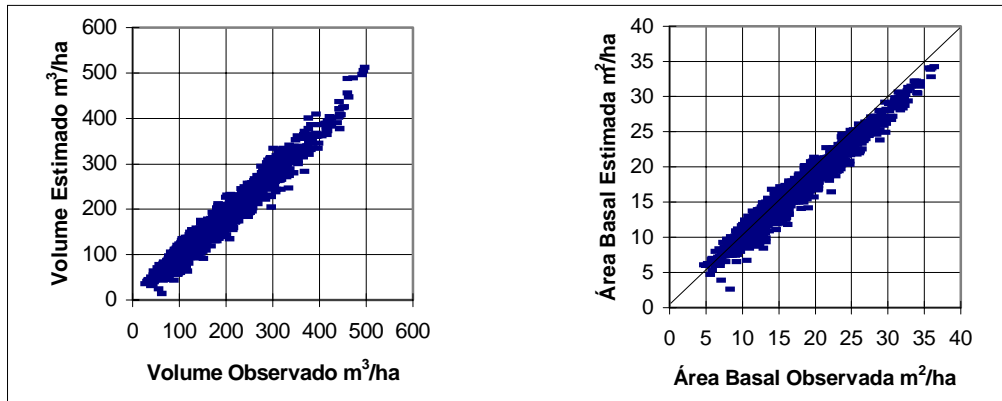


Figura 2. Relação entre valores observados e estimados em volume e área basal.

(Relation between the volume and basal area values observed and estimated).

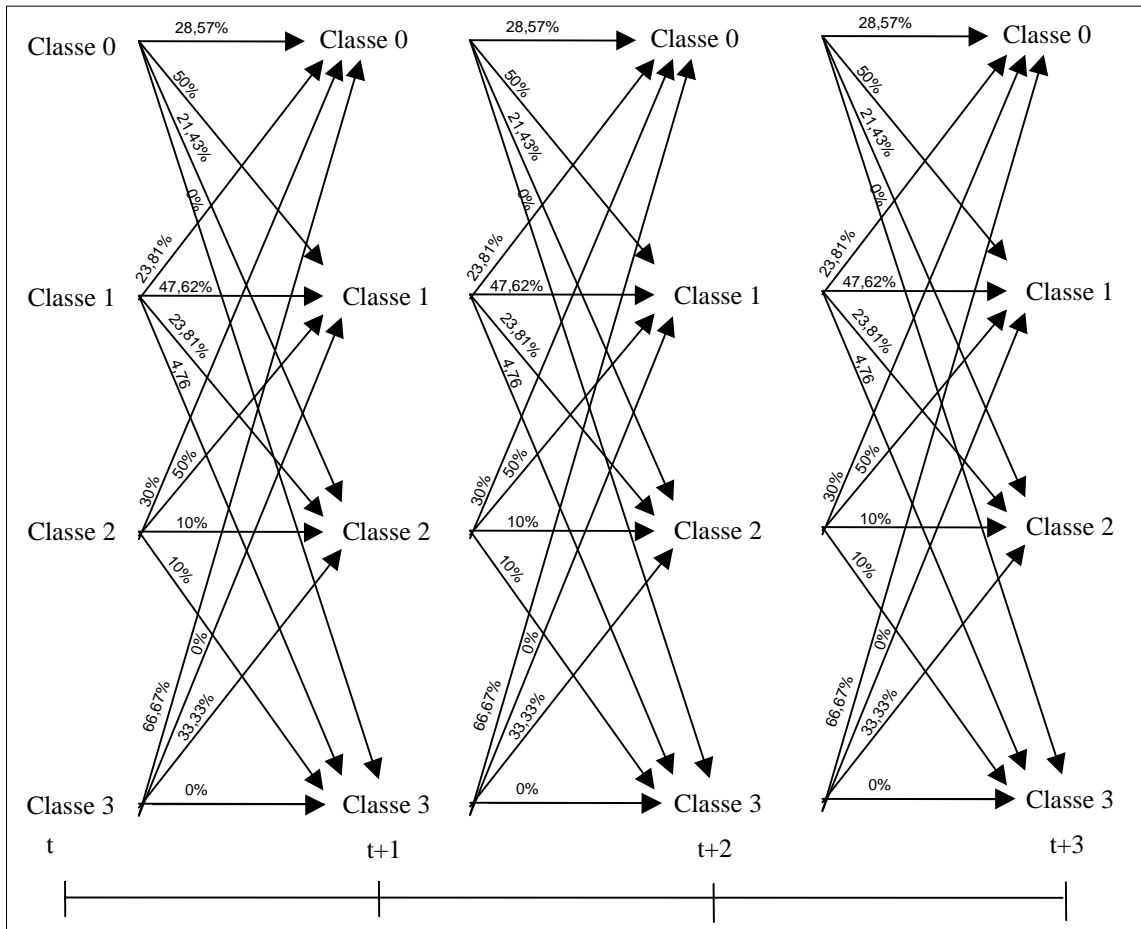
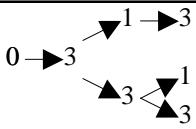
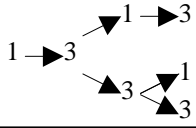
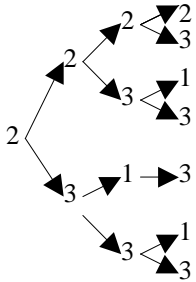
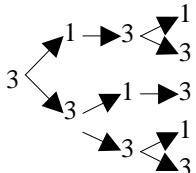


Figura 3. Árvore de tomada de decisão.

(Decision making tree).

Tabela 1. Caminhos mais prováveis e menos prováveis de ocorrência das precipitações anuais, em um período de três anos, considerando as quatro classes de precipitação.

(Higher and lower probable paths of occurrence of annual rainfalls, during the three-years period, considering four rainfall classes)

Classe Inicial	Mais Provável	Menos Provável
400 mm ≤ P < 722,5 mm (classe 0)	0 → 1 → 1 → 1	
722,5 mm ≤ P < 1.084 mm (classe 1)	1 → 1 → 1 → 1	
1.084 mm ≤ P < 1.445 mm (classe 2)	2 → 1 → 1 → 1	
1.445 mm ≤ P ≤ 1.600 mm (classe 3)	3 → 0 → 1 → 1	

Analisando os dados da Tabela 2, verifica-se que, mesmo ocorrendo precipitações anuais diferentes daquelas utilizadas para gerar as estimativas esperadas, mínimas e máximas da produção em volume e em área basal, o modelo apresentou-se preciso, haja vista a pequena diferença entre os valores observados e estimados.

Percebe-se, ainda, que as estimativas mínimas para a idade de 66 e 78 meses são as mais próximas dos valores observados, o que reforça o fato de que para a região de Inhambupe, BA há uma maior probabilidade de ocorrência de produções menores do que a esperada. Em contrapartida, a ocorrência de precipitação acima da média, verificada aos 90

meses, acarreta em produção maior do que a esperada.

Embora não estejam associadas probabilidades às estimativas mínimas e máximas (Tabela 2), estas podem ser utilizadas como os limites de um intervalo de previsão, dentro dos quais as produções podem estar contidas. Esta informação pode ser muito útil no planejamento florestal, sobretudo com relação ao abastecimento de fábricas ou de mercados consumidores, em um dado período de tempo. Baseando-se nas estimativas pessimistas da produção de madeira pode-se verificar se o estoque de madeira será ou não suficiente para atender às demandas, com uma margem de segurança.

Tabela 2. Valores observados e estimativas esperadas, máximas e mínimas das produções em volume e em área basal para um povoamento de *E. grandis* x *E. urophylla* na região de Inhambupe, Bahia (Observed values and expected, maximal and minimal estimates of volume and basal area yields for an *E. grandis* x *E. urophylla* stand in the Inhambupe region, Bahia State, Brazil)

Ano	Precip. Obs.	Classe de Precipitação*		Idade (meses)	Vol. Obs. (m ³ /ha)	Área Basal Obs. (m ² /ha)		Vol. Esp. (m ³ /ha)	Área Basal Esp. (m ² /ha)		Vol. Mín. (m ³ /ha)	Área Basal Mín. (m ² /ha)		Vol. Máx. (m ³ /ha)	Área Basal Máx. (m ² /ha)	
		Obs.	Esp.			Máx.	Mín.		Máx.	Mín.		Máx.	Mín.			
94	482,0	0	0	0	160,49	16,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	626,3	0	1	3	180,31	18,56	185,35	183,62	18,06	187,26	183,62	18,06	187,26	183,62	18,06	187,26
96	894,7	1	1	3	202,09	20,06	214,83	213,13	19,74	216,71	213,13	19,74	216,71	213,13	19,74	216,71
97	1228,3	2	1	3	241,35	22,21	237,82	236,19	21,08	239,62	236,19	20,95	239,62	236,19	20,95	239,62

* As estimativas esperadas, máximas e mínimas foram calculadas mediante o uso do centro das classes de precipitação. Índice de local (S) = 24,1m.

CONCLUSÕES

O modelo de Clutter (1963), modificado pela inclusão da variável precipitação anual na equação de área basal, propicia estimativas da produção em volume e em área basal para diferentes cenários climáticos.

De acordo com as probabilidades de transição, as precipitações anuais tendem a convergir para a precipitação média anual em um período de planejamento de três anos.

Há uma pequena probabilidade das produções em volume e em área basal maiores do que as produções esperadas, uma vez que as maiores precipitações anuais têm uma menor probabilidade de ocorrência.

AUTORES

CARLOS PEDRO BOECHAT SOARES é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da UFV - Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 - Viçosa, MG. E-mail: csoares@mail.ufv.br

HELIO GARCIA LEITE é Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal da UFV - Universidade Federal de Viçosa. 36571-000 - Viçosa, MG. E-mail: hgleite@mail.ufv.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Análise da influência da variabilidade hidrometeorológica interanual no crescimento de plantações de eucalipto. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS, 4, Salvador, 1997. **Proceedings**. Salvador: EMBRAPA/CNPQ, 1997. p.52-61.
- CLUTTER, J.L. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest science**, v.9, p.354-371, 1963.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K.N. **Forest management**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1987. 789p.

FERRAZ, E.S.B. Influência da precipitação na produção de matéria seca de eucaliptos. **IPEF**, n.46, p.32-42, 1993.

HILLER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. **Introduction to operations research**. 3.ed. San Francisco: Holden-Day, 1980. 829p.

SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; SEDIYAMA, G.C. A inclusão da precipitação anual em um modelo de crescimento e produção. **Revista árvore**, v.22, n.4, p.475-482, 1998.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. (Publications in climatology)