

ESCOLHA DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA A CONSTRUÇÃO DE CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA FLORESTAS IMPLANTADAS DE *Eucalyptus* SP NO ESTADO DE SÃO PAULO^(*)

J. L. F. BATISTA

H. T. Z. DO COUTO

ESALQ-USP, Depto. de Ciências Florestais
13400 - Piracicaba - SP

ABSTRACT - The knowledge of site productivity is important for planning, management and forest research. Therefore, site index curves are a useful tool for forest inventory, for making volume tables, production forecast and for studies of tree improvement. The purpose of this paper was to test the mathematical models used for site index curves fitting data from *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus saligna* plantations in the State of São Paulo - Brazil. We studied 8 models (4 linear and 4 non linear models) to correlate the age and the mean height of dominant trees. The data were obtained from mensurations of permanent plots in two occasions. Bailey's model was the best one: $H = a(1 - e^{-bc})^c$, where: H - mean height of dominant trees; A - age; e - base, of natural log; a, b, c - parameters fitted by non linear regression.

RESUMO - O conhecimento da produtividade dos sítios que compõem uma legião é fundamental para o planejamento, manejo e pesquisa florestal. A construção de curvas de índice de sítio, torna-se portanto, uma ferramenta muito útil para orientar o inventário florestal, a construção de tabelas de volume; previsões de produção, estudos de variedades e espécies e estudos de práticas adequadas de manejo florestal. O objetivo do trabalho é a adaptação dos métodos usuais de construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* no Estado de São Paulo. Foram estudados 8 modelos de curvas de índice de sítio (4 modelos lineares e 4 não lineares) ajustando-se a altura média das árvores dominantes de parcelas permanentes de inventário, obtidas em medição durante 2 anos sucessivos, à idade. Dentre os modelos estudados o proposto por BAILEY (1974) foi o mais adequado: $H = a(1 - e^{-bc})^c$ onde: H é a média da altura das árvores dominantes da parcela; I é a idade das árvores; e é a base dos logaritmos neperianos; a, b e c são parâmetros estimados.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das variações ambientais numa área florestada, principalmente clima e solo, é de grande importância para as atividades florestais como manejo, melhoramento, inventário e exploração. Nas ciências florestais é comum aplicar o termo "SÍTIO" para designar a influência do ambiente sobre a produção florestal.

^(*) Trabalho realizado com a colaboração da Equipe Técnica da Duraflora Silvicultura e Comércio Ltda.

Diversos métodos de classificação de sítios foram desenvolvidos, dentre eles, o método da Construção de Curvas de índice de Sítio que permite uma classificação baseada na análise quantitativa da influência ambiental.

Os trabalhos de construção de curvas de índice de sítio geralmente adotam um modelo matemático escolhido previamente de maneira arbitrária, sem estudo detalhado do modelo mais adequado para representar o padrão de crescimento da floresta.

Por outro lado, no Brasil, a metodologia de construção de curvas de índice de sítio não tem sido muito utilizada para se conhecer com maior precisão a capacidade produtiva das diversas áreas florestais.

Nesse trabalho procurou-se estudar diversos modelos de curvas de índice de sítio para florestas de **Eucalyptus grandis** e **Eucalyptus saligna** em algumas áreas do Estado de São Paulo.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O índice de sítio é uma variável que procura quantificar a qualidade do sítio por meio de parâmetros dendrométricos (volume de madeira, altura das árvores, área basal, etc.).

Segundo SPURR (1952), a qualidade absoluta do sítio é teoricamente medida pela quantidade de madeira produzida. No entanto, essa produção também é condicionada por fatores genéticos (espécie, procedência, variabilidade, etc.), idade de rotação, densidade de povoamento, etc., e só poderia ser utilizada como medida do sítio quando esses outros fatores fossem constantes, o que é impraticável. Portanto, o uso de biomassa ou volume de madeira como índice de sítio é questionável.

Com relação à área basal, VEIGA (1973, 1976 e 1982) afirma que este é um bom índice de sítio, pois é independente do espaçamento, sendo sensível às condições climáticas, fisiográficas e edáficas. Por outro lado, a área basal é um bom representante do potencial produtivo, pois tende à estagnação na chamada "idade de estagnação teórica"; logo a área basal máxima é fixa. A vantagem da área basal está na sua facilidade e rapidez de medição, mas como desvantagem tem o fato de que Para uma mesma área basal pode haver diferentes produções volumétricas. Dessa forma, o uso da área basal como índice de sítio em inventários florestais poderia levar a erros muito grandes na estimativa da produção volumétrica.

Na maioria dos casos, entretanto, o índice de sítio é representado pela altura média ou máxima de um povoamento numa dada idade, substituindo assim a produção de biomassa (VAN LAAR, 1976 e 1981).

Parece haver consenso entre vários autores (SPURR, 1952; BURKHART e TENNENT, 1977; CLEDENEN, 1977; VAN LAAR, 1976 e 1981; DEVAN e BURKHART, 1982; STOUT e SHUMWAY, 1982) de que a altura das árvores, apesar das falhas que pode apresentar, é atualmente o melhor índice para representar o sítio. Dessa forma o índice de sítio é quase invariavelmente apresentado como a altura das árvores dominantes e codominantes de um povoamento numa determinada idade, a qual é chamada de IDADE BASE.

Entretanto, medir a altura das árvores dominantes e codominantes nem sempre produz bons resultados. SPURR (1952) apresenta alguns problemas envolvidos nessa medição e propõe como solução a utilização de uma prática inicialmente usada na Índia, mas que atualmente é o conceito mais amplamente aceito e utilizado, que define o índice de

sítio como a média aritmética da altura das 100 árvores de maior diâmetro por hectare.

As curvas de índice de sítio, segundo JONES (1969), descrevem o crescimento em altura das árvores hipotéticas de índices de sítios específicos. O valor do índice de sítio de um povoamento é então estimado por interpolação entre duas curvas, podendo-se produzir tabelas de altura x idade a partir das curvas para facilitar a sua utilização.

Basicamente, dois tipos de curvas de índice de sítio podem ser construídas: curvas HARMONICAS ou ANAMÓRFICAS e curvas NATURAIS ou POLIMÓRFICAS.

Conforme SPURR (1952), as curvas-mórficas são construídas a partir de dados de parcelas temporárias, ajustando-se uma curva guia da altura em função da idade. Adiciona-se, então, uma série de curvas similares acima e abaixo da curva guia, as quais têm a mesma forma dessa, diferindo em magnitude apenas por uma porcentagem fixa.

Essa técnica foi usada até 1940 quando, segundo MACHADO (1980), Osborne e Schumacher, analisar Ido o coeficiente de variação de tais curvas, encontraram que ele era maior para as classes de idade mais jovens. Esses dois autores desenvolveram um método gráfico para construir curvas polimórficas aplicando diferentes pesos a diferentes classes de idade, conforme os respectivos coeficientes de variação.

As curvas anamórficas apresentam, de acordo com SPURR (1952) e BECK (1971), duas fontes principais de erros:

1º) As curvas anamórficas só são precisas quando a amostragem é adequadamente realizada, de forma que a variação do índice de sítio seja igualmente representado em todas as idades;

2º) As curvas anamórficas consideram que a influência da variação do sítio sobre a altura seja uniforme em todas as idades, de modo que a forma das curvas é a mesma para todos os sítios.

As curvas polimórficas são construídas baseadas em dados de medições repetidas em intervalos de tempos sucessivos (parcelas permanentes), na análise do tronco de espécies com anéis de crescimento visível ou na análise dos verticilos anuais de crescimento das espécies que os apresentam (SPURR, 1952). Segundo MACHADO (1980), a principal variação das curvas polimórficas é que cada curva é desenvolvida a partir de dados obtidos em cada sítio.

Os diversos modelos encontrados na literatura podem ser divididos em dois grupos:

a) modelos lineares ou passíveis de linearização, que podem ser ajustados pelos métodos de regressão linear simples ou múltipla;

b) modelos não lineares, que são ajustados por método de regressão não linear (como por exemplo método MARQUARDT, que foi utilizado nesse trabalho).

O Quadro 1 apresenta alguns modelos lineares encontrados na literatura. O modelo A.1 foi utilizado por HEINSDJICK (1965) na construção de curvas de índice de sítio para **Eucalyptus** spp, baseando-se em dados de parcelas localizadas em diversos pontos do Brasil. Os modelos A.2 e A.3 são modelos polinomiais que podem dar bons resultados pois, segundo HUNT (1982), à medida que se aumenta o grau do polinômio, o modelo matemático pode se aproximar mais dos dados observados. No entanto, a escolha de um polinômio de ordem elevada pode não ser justificada por todo teste, pois enquanto a soma do quadrado dos erros pode ser menor para um polinômio de ordem elevada, o teste F pode ser maior para um polinômio de ordem menor.

O Quadro 2 apresenta os modelos não lineares de curvas de índice de sítio. Os modelos B.1, B.2 e B.3 são basicamente os mesmos, diferindo apenas na técnica de se estimar os parâmetros. A preferência por esse modelo pode ser devida às características que

ele apresenta BECK, 1971; BURKHART e TENNENT, 1977), como a forma sigmoideal, passa pela origem e tende a uma assíntota superior finita. Tais características têm significação biológica, o que torna esse modelo muito adequado.

Quadro 1. Modelos lineares de curvas de índice de sítio.

MODELOS ENCONTRADOS NA LITERATURA	REFERÊNCIAS
A. 1) $\ln(H) = a + b (1/I)$ ou $\text{Log}_{10}H = a + b (1/I)$	HEINSDIJK (1965) HUSCH et alii (1972) SCHONAU (1973)
A. 2) $\ln(H) = a + b (1/I) + c (1/I)^2$	EMPRESA RIGESA
A. 3) $\log_{10}(H) = a + b (1/I) + c (1/I)^2 + d(1/I)^3 + e(1/I)^4$ ou $H = 10^{[a + b (1/I) + c (1/I)^2 + d (1/I)^3 + e (1/I)^4]}$	FARRAR (1973) POPHAM et alii (1979)
A. 4) $\log_{10}(H) = A + B (\sqrt{I})$ ou $H = 10^{[a + b (\sqrt{I})]}$	SMALLEY & BOWER (1971) citados por: POPHAM et alii (1979)
A. 5) $H = a + b [\log_{10} (I)]$	LARSON & MOEHRING (1972) citados por POPHAM et alii (1979)
OBS.: H = altura das árvores dominantes I = idade do povoamento Ln = logaritmo neperiano a, b, c, d, e = parâmetros estimados por regressão linear	

Quadro 2. Modelos não lineares de curvas de índice de sítio.

MODELOS ENCONTRADOS NA LITERATURA	REFERÊNCIAS
B. 1) $H = a (1 - e^{bI})^c$	BAILEY et alii (1973) BURKHART & TENNENT (1977)
B. 2) $H = a (1 - e^{bI})^c$ onde: $a = b_1 + b_2 (S)$ $b = b_3 + b_4 (S)$ $c = 2$	BECK (1971)
B. 3) $H = a (1 - e^{bI})^{\frac{1}{1-m}}$ onde: $a = b_1 + b_2 (S)$ $b = b_3 + b_4 (S) + b_5 (S)^2$ $m = b_6 + b_7 (S) + b_8 (S)^2$	TROUSDELL et alii (1974)
B. 4) $\log_{10}(H) = a + b (1/I)^c$	BAILEY & CLUTTER (1974)
B. 5) $H = I^2 / [a + b (I) + c (I)^2]$	MACHADO (1980) KING (1966) (citado por MACHADO, 1980)
OBS.: H = altura das árvores dominantes I = idade do povoamento E = base dos logaritmos neperianos; a, b, c = (quando não são função de (S), são parâmetros a serem estimados; S = índice de sítio; $b_i (i = 1, 2, \dots, 8) =$ são parâmetros estimados por regressão linear.	

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados na construção das curvas são referentes a florestas homogêneas implantadas de **Eucalyptus grandis** e **Eucalyptus saligna**, em primeira rotação, de propriedade da Duraflora Silvicultura e Comércio Ltda., situadas nos municípios de Lençóis Paulista e Botucatu, ambos no Estado de São Paulo.

As informações colhidas foram à altura média das árvores dominantes da parcela (considerando-se como árvore dominante as 100 árvores de maior diâmetro por hectare) e a idade do povoamento (a partir da implantação até a data de medição). As parcelas são permanentes compondo o inventário contínuo da empresa, mas que dispunha de apenas duas medições nos anos de 1982 e 1983.

O processamento dos dados e ajustamento dos modelos foi realizado através do pacote estatístico SAS (Statistical Analysis System).

Foram testados 8 modelos, 4 deles ajustados por regressão linear (Método dos Quadrados Mínimos) e 4 ajustados por regressão não linear (Método Marquardt). Os modelos foram:

Modelos lineares

$$1.a.) \ln(H) = a + b (1/I)$$

$$1.b.) \ln(H) = a + b (1/I) + c(1/I)^2$$

$$1.c.) \ln(H) = a + b (1/I) + c (1/I)^2 + d (1/I) + e (1/I)^2$$

$$1.d.) H = a + b \ln (I)$$

onde: H = média da altura das árvores dominantes

I = idade do povoamento

ln = logaritmo neperiano

a, b, c, d, e = parâmetros estimados por regressão linear

Modelos Não Lineares

$$2.a.) H = a + b (1/I)$$

$$2.b.) H = a (1 - e^{bI})^c$$

$$2.c.) H = I^2 / (a + bI + cI^2)$$

$$2.d.) \ln (H) = a + b (1/I)^c$$

onde: H, I e ln = são os mesmos dos modelos lineares

e = base dos logaritmos neperianos

a, b, c = parâmetros estimados por método de regressão linear

O modelo (1.a.) difere do modelo (2.d.) somente pelo fato do parâmetro c ter sido, no caso do modelo (1.a.), assumido como sendo igual a 1. O modelo (2.a.) é a forma não linearizada do modelo (1.a.), e foi testado para verificar se o ajustamento por método não linear seria igualmente eficiente à regressão linear.

Os ajustamentos foram realizados para cada espécie separadamente e também para as duas espécies conjuntamente.

Vários critérios foram utilizados para se verificar o ajustamento dos modelos: soma dos erros, soma absoluta de erros, erro médio, máximo e mínimo, teste t dos parâmetros (a 5% de probabilidade) e padrão de distribuição dos erros em função da idade.

Após a seleção dos modelos que melhor se ajustarem aos dados, segundo os critérios utilizados, esses modelos foram transformados introduzindo-se o índice de sítio (IS) como um dos parâmetros, para se construir o grupo ou "família" de curvas. A idade base utilizada foi de 5 anos e as classes de índice de sítio foram arbitrariamente divididas de 2 em 2 metros, construindo-se 5 classes de índice de sítio.

As curvas foram construídas em gráficos, colocando-se nos mesmos a faixa de variação da altura das árvores dominantes em cada idade, e a última seleção dos modelos foi segundo o melhor ajuste visual às faixas de variação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curvas de Índice de sítio para *Eucalyptus grandis*

Entre os modelos testados no caso de *Eucalyptus grandis* para os modelos lineares (Quadro 3), o modelo (1.d.) conseguiu o melhor ajustamento aos dados, e entre os não

lineares o melhor foi o modelo (2.b.). Ambos apresentaram a soma de erros mais próxima de zero e a menor soma absoluta de erros e erro médio.

Quanto à distribuição dos erros, o padrão foi satisfatório para todos os modelos.

O modelo (2.a.) teve um ajustamento ligeiramente superior à sua forma linearizada (1.a.).

Os dois modelos escolhidos - (1.d.) e (2.d.) - foram transformados para construção da "família" de curvas de índice de sítio. No caso do modelo (2.b.), a transformação utilizada foi a proposta por BAILEY et alii (1973), onde o modelo inicialmente ajustado:

$$H = a (1 - e^{bI})^c$$

passa para:

$$H = IS (1 - e^{bI})^c / (1 - e^{bIB})^c$$

onde: H = altura

IS = índice de sítio

I = Idade

IB = idade base

e = base dos logaritmos neperianos

a, b, c, = parâmetros estimados

Quadro 3. Comparação dos modelos utilizados para Eucalyptus grandis.

MODELOS	SOMATÓRIA DOS ERROS	SOMATÓRIA ABSOLUTA DOS ERROS	ERRO MÉDIO	INTERVALO DE CONFIANÇA DOS PARÂMETROS (%)					TESTE t DOS PARÂMETROS				
				A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1 a	334,0895	3.555,1940	2,6711	0,33	2,31	-	-	-	299,95**	-43,46**	-	-	-
1 b	317,7812	3.508,4965	2,6360	0,84	7,09	19,56	-	-	119,41**	-14,10**	5,11**	-	-
1 c	-	-	-	9,35	31,26	36,97	38,49	38,85	10,69**	-3,20**	2,70**	-2,60**	2,57**
1 d	-0,0000	3.502,6097	2,6315	9,98	14,23	-	-	-	10,01**	40,39**	-	-	-
2 a	9,3845	3.542,1660	2,6613	0,37	2,80	-	-	-	-	-	-	-	-
2 b	0,3235	3.500,9301	2,6303	6,36	23,62	14,41	-	-	-	-	-	-	-
2 c	-1.178,6684	3.684,5832	2,7683	173,11	16,01	7,69	-	-	-	-	-	-	-
2 d	9,3845	3.542,1660	2,6613	7,59	9,97	25,76	-	-	-	-	-	-	-

OBS.: 1 - Os intervalos de confiança foram estabelecidos a 95% de probabilidade.

2 - No teste t temos: * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Para o modelo (1.d.) foi realizada uma transformação que seguiu basicamente o mesmo desenvolvimento proposto por BAILEY & CLUTTER (1974) para curvas polimórficas. O modelo inicialmente ajustado:

$$H = a + b \ln(I)$$

é transformado para:

$$H = a + (IS - a) \cdot \ln(I) / \ln(IB)$$

onde: \ln = é o logaritmo neperiano
e os demais símbolos são os mesmos apresentados acima .

As curvas produzidas a partir das equações transformadas são apresentadas na Figura 1, juntamente com as faixas de variação da altura das árvores dominantes em cada idade.

O modelo (2.d.) cobriu, de forma ligeiramente superior, a faixa de variação das alturas e, como trata-se de um modelo com características apropriadas para uma curva de crescimento, foi selecionado como o mais adequado, embora as diferenças sejam pequenas entre ele e o modelo (1.d.).

Curvas de índice de sítio para *Eucalyptus saligna*

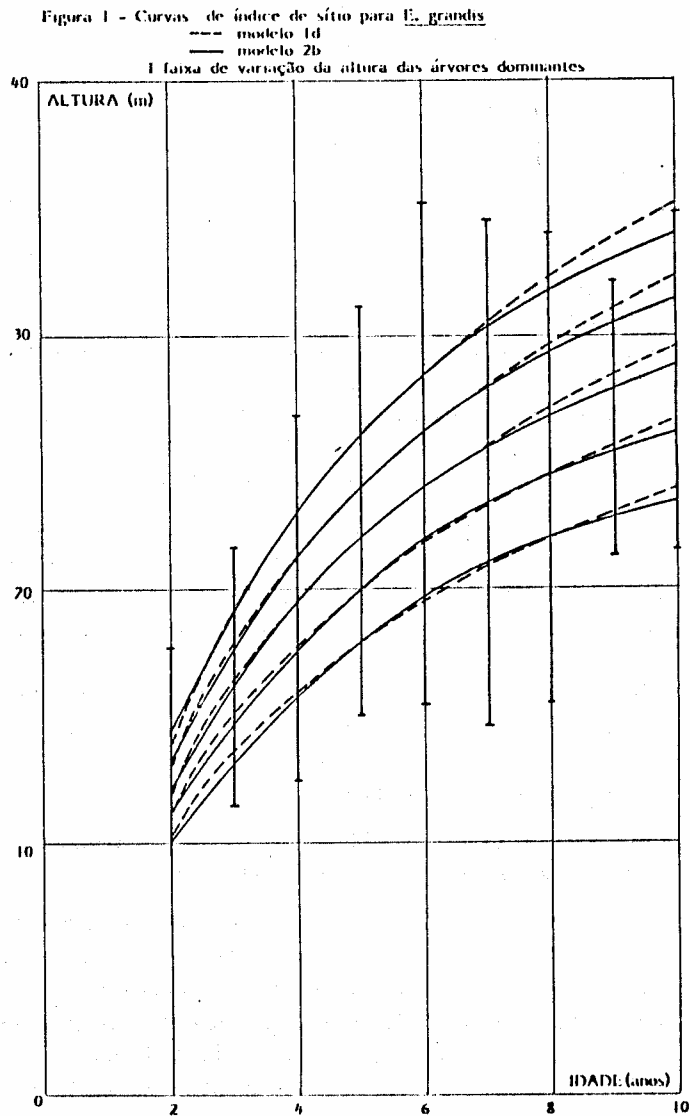
Para o **E. saligna**, o modelo linear de melhor ajustamento foi também o modelo (1.d.), pois a soma de erros foi igual a zero e a soma absoluta dos erros e o erro médio foram baixos, embora ligeiramente superiores ao modelo (1.a.) (Quadro 4).

Figura 1 - Curvas de índice de sítio para *E. grandis*

--- modelo 1d

— modelo 2b

| faixa de variação da altura das árvores dominantes



Quadro 4. Comparação dos modelos para Eucalyptus saligna.

MODELOS	SOMA DOS ERROS	SOMA ABSOLUTA DOS ERROS	ERRO MÉDIO	INTERVALO DE CONFIANÇA DOS PARÂMETROS (%)					TESTE t DOS PARÂMETROS				
				A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1 a	75,0838	885,3698	2,1232	1,05	6,25	-	-	-	160,23**	-27,38**	-	-	-
1 b	100,0169	1.073,9621	2,2850	0,93	4,67	8,47	-	-	107,17**	-21,42**	11,81**	-	-
1 c	-	-	-	37,78	57,08	65,30	74,72	87,18	2,65*	-1,75	1,53	1,34	1,15
1 d	0,0000	888,4590	2,1306	43,25	6,44	-	-	-	-2,31**	15,53**	-	-	-
2 a	43,2287	1.176,1062	2,5024	0,56	2,84	-	-	-	-	-	-	-	-
2 b	-0,095	890,4286	2,1553	6,84	34,38	50,94	-	-	-	-	-	-	-
2 c	1,1648	1.043,7445	2,2207	30,44	5,84	7,03	-	-	-	-	-	-	-
2 d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OBS.: 1 - Os intervalos de confiança foram estabelecidos a 95% de probabilidade.

2 - No teste t temos: * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

3 - No modelo 2d não foi encontrado um critério de convergência para os parâmetros, não podendo ser ajustado pelo método MARQUARDT de regressão não linear.

Entre os modelos não lineares, o modelo (2.b.) teve a menor soma de erros e a soma absoluta de erros, mas o intervalo de confiança dos parâmetros foi demasiadamente grande; apesar, disso esse modelo foi escolhido para a construção da "família" de curvas de índice de sítio.

As transformações realizadas para a construção das curvas foram as mesmas que no caso de **E. grandis**. No caso de **E. saligna**, o modelo (2.b.) se mostrou inferior ao modelo (1.d.), como é mostrado na Figura 2, pois não cobriu adequadamente a distribuição das alturas. A assíntota apresentou-se de forma prematura, provavelmente devido aos parâmetros b e c não terem boas estimativas (os intervalos de confiança muito grandes).

A comparação das curvas obtidas a partir desses 2 modelos - (Figura 3) - com as apresentadas por VAN LAAR (1961) para **E. saligna** na África do Sul, o modelo (1.d.) confirmou ser superior ao modelo (2.b.) pois se aproximou mais das curvas obtidas por aquele autor. Entretanto, essa comparação representa uma extrapolação dos dados utilizados nesse trabalho, pois as curvas foram ajustadas com dados de idade entre 2 e 10 anos apenas.

Curvas de Índice de sítio para as duas espécies conjuntamente (E. grandis e E. saligna)

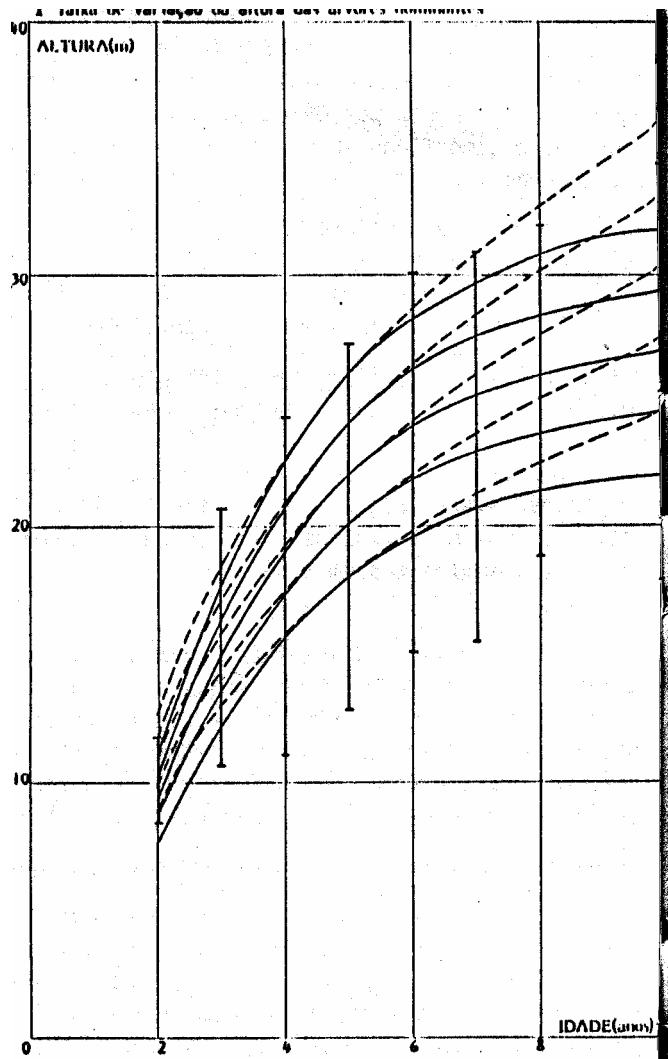
Os dois modelos que não deram ajustamento satisfatório nos casos anteriores (1.c. e 2.d.) foram desprezados. Os outros modelos foram ajustados com os dados das duas espécies conjuntamente, para se verificar a possibilidade de uma única "família" de curvas representar ambas as espécies.

Figura 2 - Curvas de índice de sítio para *E. saligna*

--- modelo 1d

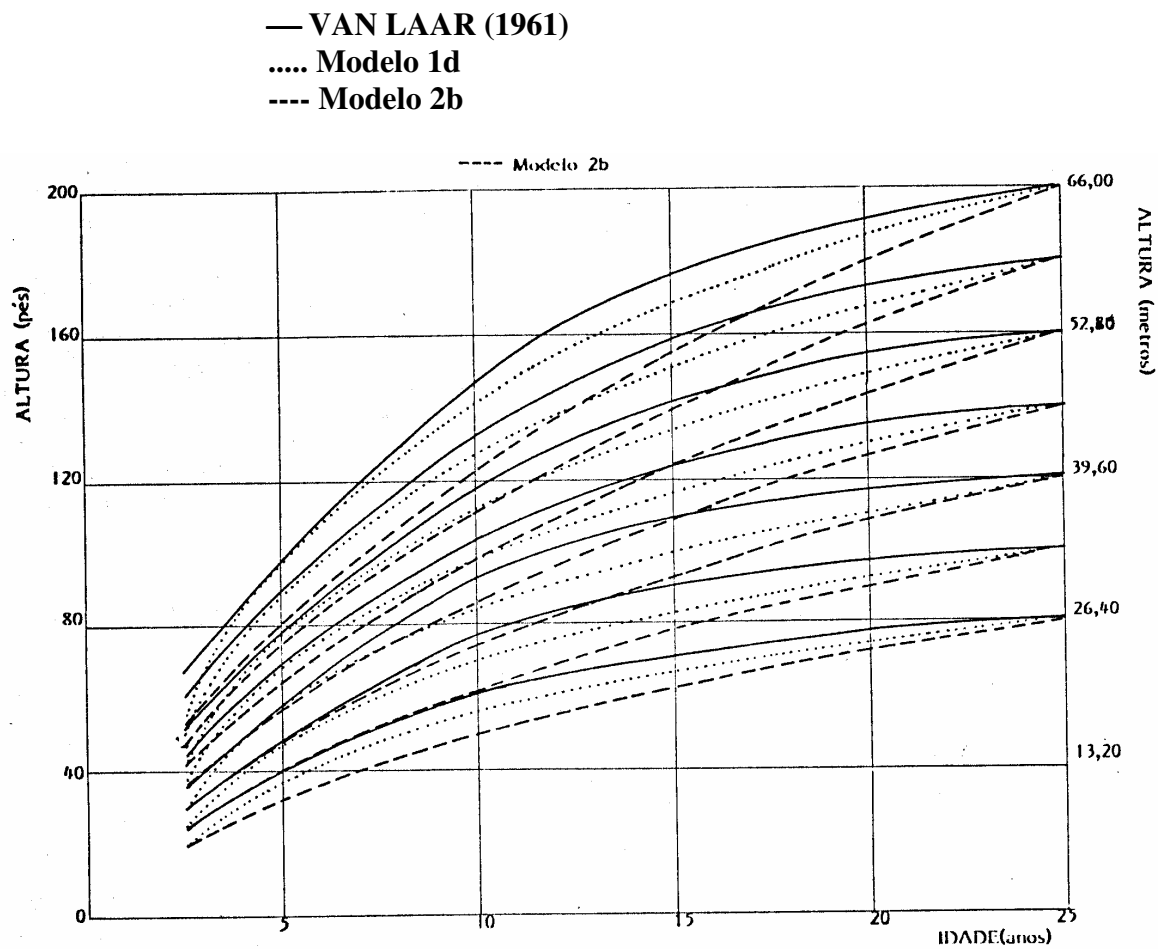
— modelo 2b

| faixa de variação da altura das árvores dominantes



Entre os modelos lineares, o modelo (1.d.) foi novamente o que conseguiu melhor ajustamento (Quadro 5) com os menores valores para as somas de erros (simples e absoluta) e para o erro médio, e com intervalos de confiança satisfatórios.

Figura 3. Comparação dos modelos de curvas de índice de sítio para *E. saligna*:



Quadro 5. Comparação dos modelos utilizados para as duas espécies conjuntamente (E. grandis + E. saligna).

MODELOS	SOMA DOS ERROS	SOMA ABSOLUTA DOS ERROS	ERRO MÉDIO	INTERVALO DE CONFIANÇA DOS PARÂMETROS (%)					TESTE t DOS PARÂMETROS				
				A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1 a	520,2518	5.012,7315	2,7833	0,31	2,31	-	-	-	326,81**	-49,13**	-	-	-
1 b	460,2518	4.808,1151	2,6697	0,64	4,35	9,27	-	-	156,46**	-22,90**	10,78**	-	-
1 c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 d	- 0,0000	4.823,4996	2,6782	13,73	1,97	-	-	-	7,29**	50,75**	-	-	-
2 a	51,3997	5.000,8777	2,7767	0,34	24,19	-	-	-	-	-	-	-	-
2 b	0,6116	4.726,9876	2,6246	24,61	55,87	6,01	-	-	-	-	-	-	-
2 c	5,5073	4.733,7855	2,6284	19,21	4,77	5,81	-	-	-	-	-	-	-
2 d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

OBS.: 1 - Os intervalos de confiança foram estabelecidos a 95% de probabilidade.

2 - No teste t temos: * significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

3 - O modelo 1c não foi testado para essa situação

4 - No modelo 2d não foi encontrado critério de convergência para os parâmetros, não podendo ser ajustado.

Com relação aos modelos não lineares, o modelo (2.b.) conseguiu os menores valores quanto aos erros (soma de erros, soma absoluta de erros e erro médio), mas ficou comprometido, devido aos intervalos de confiança dos parâmetros a e b. O modelo (2.c.) I embora tenha apresentado valores de erros ligeiramente superiores ao modelo (2.b.), obteve parâmetros de menor intervalo de confiança e, portanto, mais confiáveis. O seu comportamento foi muito semelhante quando ajustado para os dados de **E. saligna** (Quadro 4) e para OS dados das duas espécies conjuntamente; já no caso de **E. grandis** (Quadro 3) ele obteve um ajustamento muito inferior aos demais. Dessa forma esse modelo sugere que diferenças no padrão de crescimento de uma espécie para outra podem tornar um modelo adequado para uma espécie (no caso, **E. saligna**) e totalmente inadequado para outra, dentro de um mesmo gênero (**E. grandis** nesse trabalho).

Para a construção da "família" de curvas foram selecionados os modelos (1.d.) e (2.d.), a fim de se poderem comparar as curvas obtidas para cada espécie em particular. Os dois modelos apresentaram curvas muito diversas nessa situação de ajustamento (Figura 4).

O modelo (1.d.) obteve curvas intermediárias entre as duas espécies (Figura 5), embora muito próximas de **E. saligna**, praticamente não diferindo destas, e mais distintas das curvas de **E. grandis**.

O modelo (2.b.) (Figura 6) se mostrou bem mais sensível, apresentando curvas de padrões nitidamente distintos para cada uma das três situações. Essa sensibilidade pode estar tanto relacionada aos aspectos biológicos que esse modelo representa com maior fidelidade, como também com o grande intervalo de confiança dos parâmetros b (que controla o grau de inclinação da curva) e c (que controla a assíntota superior do modelo).

Figura 4. Curvas desenvolvidas com os dados das duas espécies conjuntamente (*E. grandis* e *E. saligna*)

..... Modelo 1d
— Modelo 2b
| faixa de variação da altura das árvores dominantes

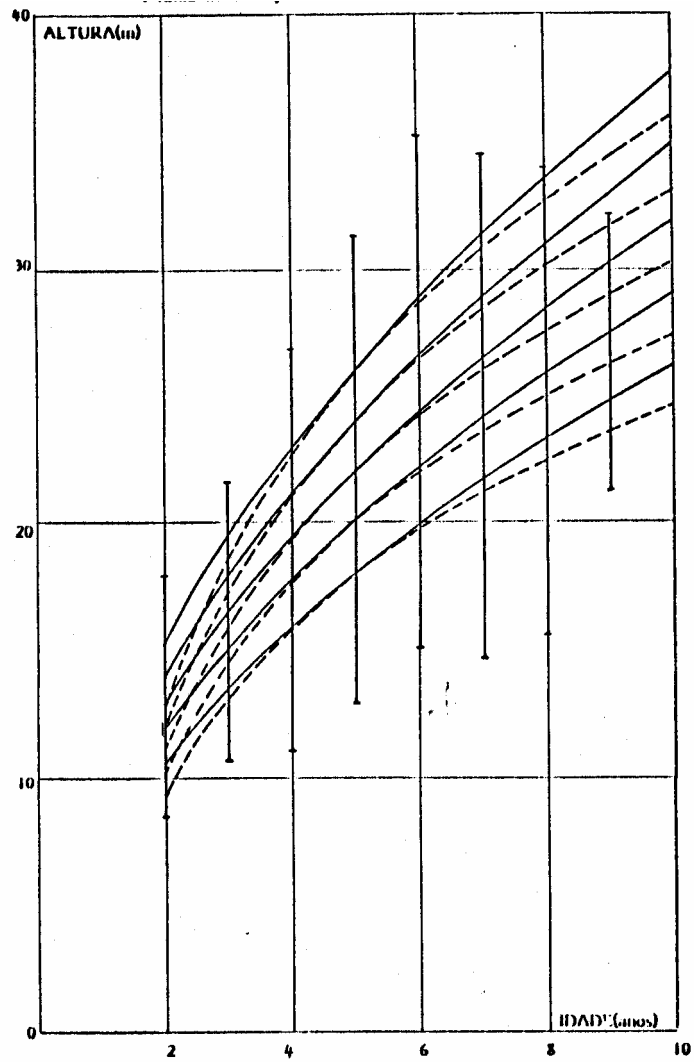


Figura 5. Formas assumidas pelo modelo 1d

E. grandis, E. saligna

E. saligna

E. grandis

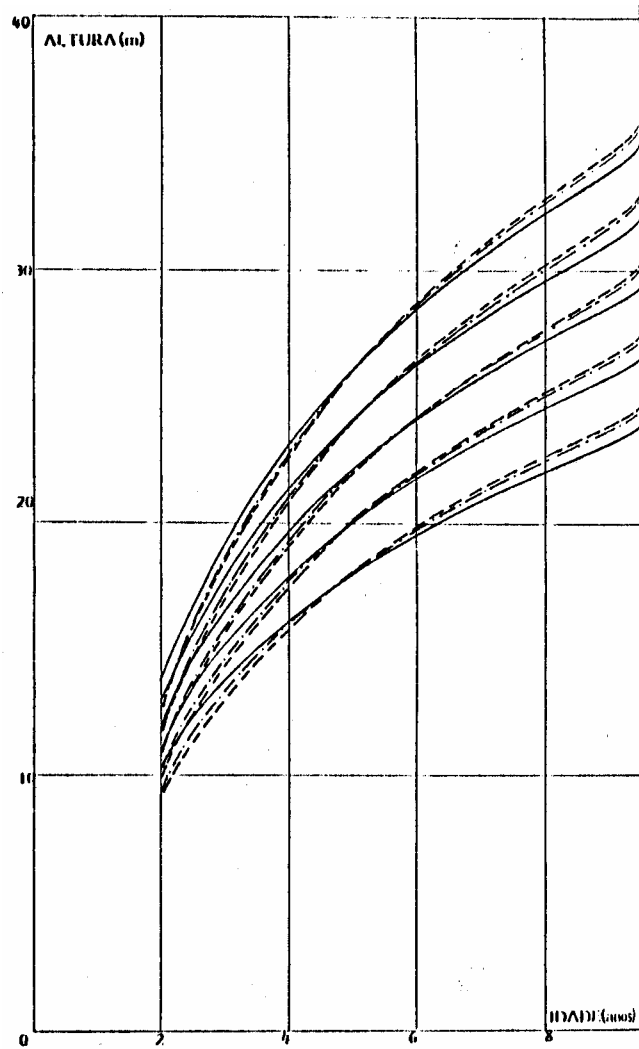
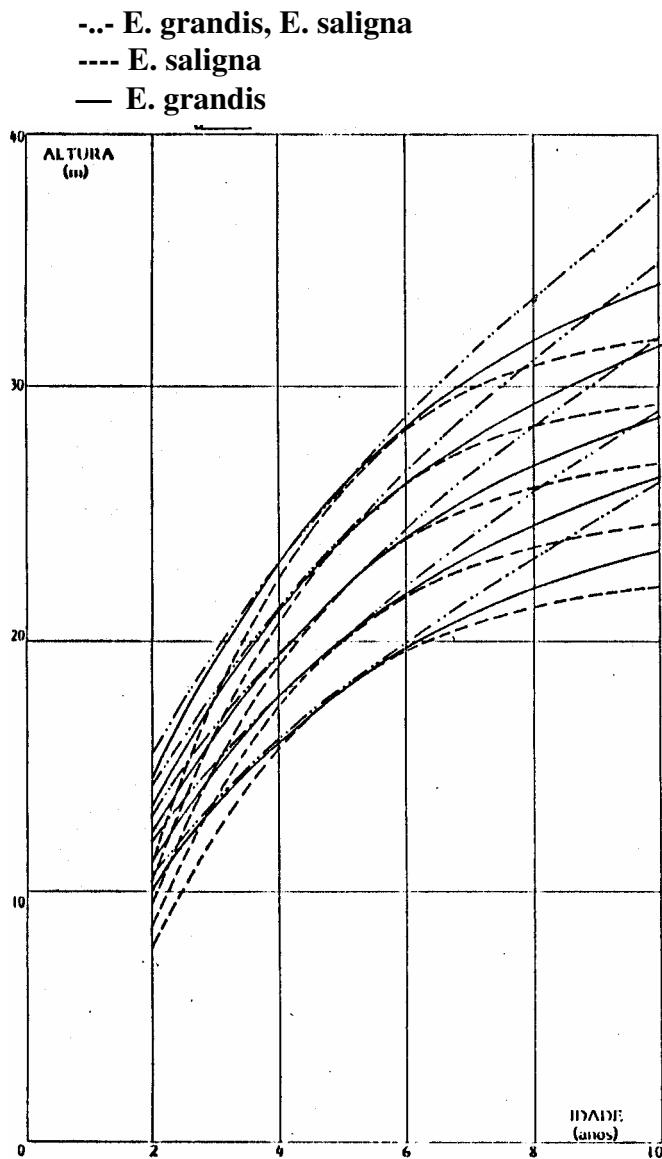


Figura 6. Formas assumidas pelo modelo 1d



CONCLUSÕES

Dos modelos estudados, o modelo (2.b.) bastante citado na literatura, foi o mais adequado para **E. grandis**. Já para **E. saligna** esse modelo se mostrou inferior ao modelo (1.d.), devido ao intervalo de confiança do parâmetro c ter sido demasiado grande, comprometendo principalmente a assíntota superior das curvas de índice de sítio.

O modelo linear (1.d.) foi o que mais se mostrou constante nos ajustamentos para as três situações (para **E. grandis**, para **E. saligna** e para **E. grandis** e **E. saligna**), sendo mais adequado que o modelo (2.b.) para representar as curvas de crescimento de **E. saligna**. Esse modelo muito pouco citado na literatura merece maior atenção, pois, além de produzir bons resultados, é de fácil ajustamento por meio de regressão linear simples.

A construção de único conjunto de curvas para representar ambas as espécies não foi apropriada nesse caso. O modelo (2.b.) produziu curvas que não representaram uma situação intermediária entre as duas espécies, tendendo a superestimar as alturas de ambas. Já o modelo (1.d.) , embora tenha produzido uma situação intermediária, essa se confundiu muito mais com as curvas do **E. saligna** e se distanciou muito das curvas de **E. grandis**.

O comportamento dos dois modelos citados acima e mais o modelo (2.c.), que teve um bom ajuste para **E. saligna** e ajuste inadequado para **E. grandis**, sugere que mesmo dentro de um único gênero o padrão de crescimento das espécies pode ser distinto o suficiente para não permitir a construção de um único conjunto de curvas que representa duas espécies. Por outro lado, as diferenças no padrão de crescimento de espécies dentro de um mesmo gênero tornam necessário um estudo prévio dos modelos que melhor representam os padrões de crescimento da espécie em estudo, antes da construção das curvas de índice de sítio, o que acontece na maioria dos trabalhos de índice de sítio que, no geral, assumem um modelo arbitrariamente escolhido.

RESTRICÇÕES DAS CURVAS CONSTRUÍDAS

Quanto à aplicabilidade das curvas construídas a partir dos modelos selecionados nesse trabalho, elas se mostram como uma boa aproximação inicial. A qualidade dos dados compromete um pouco a sua precisão, uma vez que elas foram desenvolvidas baseadas em apenas duas medições sucessivas de povoamentos de diferentes idades. Dessa maneira, a amostragem da variação de sítio dentro de cada idade pode não ter sido suficiente para se alcançar um alto grau de precisão. Por outro lado, na falta de medições sucessivas para cada parcela, o polimorfismo das curvas foi desenvolvido por métodos analíticos na transformação dos modelos, que aumenta a confiabilidade das curvas.

BIBLIOGRAFIA

- BAILEY, R.L. & CLUTTER, J.C., 1974. Base-age invariant polymorphic site curves. **Forest Science**, Washington, 20(2): 155-159.
- BAILEY, R.L. et alii, 1973. Slash pine site index in the west gulf. USDA, **Forest Service SO Research note**, New Orleans, (169): 1-4.
- BECK, D.E., 1971. Polymorphic curves for white pine in the southern Appalachians. **USDA, forest Service SE Research Paper**, Asheville, (80): 1-89.
- BURKHART, H.E. & TENNENT, R.B., 1977. Site index equation for radiata pine in New Zealand. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, 7(3): 708-16.
- FARRAR, R.M., 1973. Southern pine site index equations. **Journal of Forestry**, Washington, 71(11): 696-7.
- HEINSDJICK, D. et alii, 1965. Plantações de eucalipto no Brasil: estudo preliminar dos volumes e capacidade de produção. **Boletim. Setor de Inventários Florestais**, Rio de Janeiro, (10): 1965.

- HUNT, R., 1982. **Plant growth curves**. London, Edward Arnold.
- HUSCH, B. et alii, 1972. **Forest mensuration**. New York, The Ronald Press Company.
- JONES, J.R., 1969. Review and comparison of site evaluation methods. **USDA, Forest Service RM Research Paper**, Fort Collins, (51): 1-27.
- MACHADO, S.A., 1980. Curvas de índice de sítio para plantações de **Pinus taeda** L. na região central do Estado do Paraná. **Floresta**, Curitiba, **11**(2): 4-18.
- POPHAM, T.W. et alii, 1979. Site index for Loblolly pine plantation and Cutover sites in the West Gulf Coastal Plain. **USDA, Forest Service SO Research Note**, New Orleans, (250): 1-7.
- SCHONAU, A.P.G. , 1973. Height growth and site index curves for **Acacia mearnsii** on the Uasin Gishu Plateau of Kenya. **Commonwealth Forestry Review**, Londres, **52**(3): 245-53.
- SPURR, S.H., 1952. **Forest Inventory**. New York, The Ronald Press Company.
- STOUT, B.B. & SHUMWAY, D.L. , 1982. Site quality estimation using height and diameter. **Forest Science**, Washington, **28**(3): 639-45.
- TOLEMAN, R.D.L., 1979. Site classification. In: FORD, E.D.; MALCOLM, D.C. & ATTERSON, F. **The ecology of even-aged forest plantations**. Cambridge, Institute of Terrestrial Ecology. p.23-27.
- TROUSDELL, K. et alii, 1974. Site index for Loblolly pine in the Atlantic Coastal Plain of the Carolinas and Virginias. **USDA. Forestry Service SE Research Paper**. Asheville, 115: 1-11.
- VAN LAAR, A. , 1961. **Eucalyptus saligna** in South Africa: an investigation into the silviculture and economics. **Annale Universiteit Van Stellenbosch**, Stellenbosch, 36 (1, Série A): 25.
- VAN LAAR, A., 1981. Biomass parameters in studies of the effect of site and silviculture on production. XVII IUFRO World Congress, Kyoto, Div. 2: 120-124.
- VEIGA, A.A. , 1974. Índice de qualidade e densidade. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 2, CURITIBA, FIEP. p.218-20.
- VEIGA, A.A. , 1976. A determinação do "site". **A semente**, São Paulo, (6): 5-6, jan.
- VEIGA, A.A., 1980. Proposição para trabalhos de campo na determinação de "site" em povoamentos naturais dissetâneos. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, 16A (parte A): 1142-20.