

**USO DA DIFERENÇA ALGÉBRICA PARA CONSTRUÇÃO DE
CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO PARA *Eucalyptus grandis* e
Eucalyptus urophylla NA REGIÃO DE LUIZ ANTONIO - SP**

Francisco Rodrigues da Cunha Neto¹
José Roberto Soares Scolforo²
Antonio Donizette de Oliveira²
Natalino Calegário²
Honório Kanegae Júnior³

RESUMO - Este trabalho teve como objetivo definir classes de produtividade de sítio, para ***Eucalyptus grandis*** e ***Eucalyptus urophylla*** na região de Luiz Antonio - SP. Foram testados modelos tradicionalmente utilizados no meio florestal, além de ser utilizado o método da diferença algébrica. Para ***Eucalyptus grandis*** utilizou-se dados de 560 parcelas permanentes, com até três medições, dependendo da idade dos talhões que variaram de 22 a 63 meses. Para ***Eucalyptus urophylla*** utilizou-se 280 parcelas permanentes com idades variando de 22 a 57 meses, incluindo também até 3 medições. Para as duas espécies foram geradas 5 classes de produtividade de sítio com amplitude de 3 m na idade de referência (60 meses). Nesta idade a altura média das árvores dominantes variou de 13 a 28 m para ***Eucalyptus grandis*** e de 11,0 a 26,0 m para ***Eucalyptus urophylla***. O método da diferença algébrica propiciou ajustes superiores aos modelos tradicionais e o modelo de Chapman-Richards foi o que apresentou melhor desempenho. Testes realizados para verificar o padrão de desenvolvimento das curvas de altura das árvores dominantes, mostraram que as duas espécies apresentam um padrão de desenvolvimento anamórfico.

PALAVRAS CHAVES: Índice de sítio, modelos matemáticos, ***Eucalyptus*** sp.

1. Departamento de Engenharia Florestal - UNIFENAS, Alfenas, MG
2. Departamento de Ciências Florestais - UFLA - Cx. Postal 37, 37200-000 - Lavras - MG
3. CELPAV S/A - Rod. SP. 255 km 41,2 - 14210-000, Luís Antonio - SP

SUMMARY - The purpose of the present study was to define classes of site productivity for **Eucalyptus grandis** and **Eucalyptus urophylla** in Luiz Antônio Region - SP. Traditional models as well the algebraic difference method were tested. For **Eucalyptus grandis**, data from 560 permanent plots were employed, with up to three measurements, depending on the stand age, which ranged from 22 to 63 months. For **Eucalyptus urophylla** data from 280 permanent plots were employed, with up to three measurements, depending on the stand age, with a range from 22 to 57 months. For two species five classes of site productivity were established with a range of 3 m at the reference age (60 months). At this age, the average height of the dominant trees showed values ranging from 13.0 to 28.0 m. for **Eucalyptus grandis** and 11.0 to 26.0 m for **Eucalyptus urophylla**. The algebraic difference method showed superior fittings a the traditional models and the Chapman-Richards model was the one which presented the best performance. Tests performed to verify the development of height curves of dominant trees, indicated an anamorphical pattern.

KEY-WORDS: Site index, mathematics models, **Eucalyptus** sp.

INTRODUÇÃO

Os ecólogos e os manejadores florestais definem sítio a partir de pontos de vista diferentes: Como unidade geográfica uniforme caracterizado por uma certa combinação estável dos fatores do meio; e como um fator de produção primário capaz de produzir madeira ou produtos florestais a eles associados, respectivamente.

O conhecimento quantitativo do potencial do sítio para uma espécie em particular auxilia que o planejamento regional ou local da atividade florestal seja implementado. A produtividade dos sítios também influencia a dimensão dos produtos advindos da floresta, viabilizando economicamente, ou não projetos florestais, além desta produtividade ser usada como referência para diagnóstico e prescrição de manejo e conservação do solo.

Existem várias alternativas para efetuar a classificação da produtividade dos locais podendo-se citar os fatores edáficos, fatores climáticos, fatores fisiográficos, a

vegetação rasteira, multifatorial de sítio, registro histórico e elementos dendrométricos (volume, área basal e altura).

O método de índice de sítio (baseia-se na altura média das árvores dominantes na idade de referência) é o mais universalmente utilizado para definir a potencialidade dos sítios florestais e assim o será até que métodos que conjuguem a soma de fatores ambientais possam ser traduzidos de forma numérica e acessível aos usuários do setor.

Uma série de trabalhos foram desenvolvidos sobre o tema, considerando diferentes espécies, diferentes métodos de ajustes dos modelos matemáticos e os diferentes padrões de desenvolvimento da altura média das árvores dominantes, anamórfica ou polimórfica. Dentre estes cita-se os de: Alemdag (1990), Gonzalez et al (1992), Stansfield e McTague (1992), McDill e Amateis (1992), Cao e Durand (1991), Hacker e Bilan (1991), Goelz e Burk (1992), Batista e Couto (1986), Campos et al (1985), Couto et al (1989), Scolforo e Machado (1988a, 1988b), Maestri (1992), Scolforo (1992), Scolforo (1993) e Machado (1980).

Este trabalho teve como objetivos: definir classes de produtividade de sítio para **Eucalyptus grandis** e **Eucalyptus urophylla**, empregando o método de diferença algébrica, e também definir a forma das curvas de sítio para estas espécies, se anamórfica ou polimórfica.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido com dados de **Eucalyptus grandis** e **Eucalyptus urophylla** provenientes da empresa Celulose e Papel Votorantin (CELPV - Florestal S.A.), situada no município de Luiz Antônio - SP. A amostra foi composta de 560 parcelas de **Eucalyptus grandis** e 280 parcelas de **Eucalyptus urophylla**.

Os projetos amostrados tiveram suas medições iniciadas aos 22 meses de idade e remedições até aos 63 meses em diversas condições de sítio, o espaçamento foi de 3x2m, e todas as unidades amostrais apresentaram forma retangular com 20x21m, totalizando 420m². Neste estudo todas as parcelas utilizadas tiveram pelo menos 2 (duas) medições. Considerou-se como altura dominante, a altura média das 100 (cem) árvores de maior diâmetro por hectare. Em cada unidade amostral foram medidas as alturas das 5 (cinco) árvores de maior diâmetro.

Para gerar as curvas de índice de sítio foram ajustados modelos tradicionais existentes na literatura os quais expressam a relação altura média das árvores dominantes e idade. Estes modelos são mostrados na Tabela 1.

Outra opção de ajuste foi através do método da diferença algébrica. Com relação a este tema, pode-se citar entre outros, as experiências de Bailey e Clutter (1974), Borders et al. (1984) e Newton (1992), Gonzalez et al (1992) e Scolforo (1992, 1993) .

O método da diferença algébrica pode ser aplicado a partir de qualquer modelo que retrata a relação altura-idade, tanto para produzir famílias de curvas anamórficas, como polimórficas. Entretanto, é necessário que os dados sejam advindos de parcelas permanentes, de análise de tronco ou ainda de um grande número de parcelas temporárias.

Conforme Scolforo (1993) uma das vantagens deste método é a obtenção de curvas de sítio anomórficas ou polimórficas, independente da escolha da idade de referência, além da altura na idade de referência ser igual ao índice de sítio não necessitando de qualquer ajuste ou correção, quando curvas de polimórficas estiverem sendo geradas.

A seguir apresenta-se como gerar a formulação da diferença algébrica para o modelo de Chapman e Richards.

$$Hd = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I})^{\beta_2} + e_i$$

em que:

Hd = altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare na idade I;

β_i = parâmetros a serem estimados;

e = exponencial.

Considera-se então 2 possibilidades.

1º caso: Se β_0 é constante para todos os sítios mas β_2 é um parâmetro específico do sítio, ou seja, tem diferentes valores, de modo que cada sítio tem um valor β_i , tem-se um

conjunto de curvas polimórficas. Para efeito demonstrativo considere uma árvore num sítio específico, i , nas idades sucessivas I_1 e I_2 . Assim, o modelo de Chapman e Richards assume a seguinte forma.

$$Hd_1 = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I_1})^{\beta_2} \quad Hd_2 = \beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I_2})^{\beta_2}$$

em que:

Hd_1, Hd_2 = respectivamente alturas da primeira e segunda medições nas idades I_1 e I_2 ; β_2 ; e = já definidos anteriormente.

Isolando-se β_2 em cada expressão e igualando-as tem-se:

$$\frac{\ln Hd_1}{\ln[\beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I_1})]} = \frac{\ln Hd_2}{\ln[\beta_0 (1 - e^{-\beta_1 I_2})]}$$

Resolvendo a expressão em relação a Hd_2 tem-se:

$$Hd_2 = \beta_0 \left(\frac{Hd_1}{\beta_0} \right)^{\frac{\ln(1 - e^{-\beta_1 I_2})}{\ln(1 - e^{-\beta_1 I_1})}},$$

que é a forma de ajuste para gerar curvas polimórficas. Efetuando um rearranjo na expressão anterior tem-se esta expressão em função do índice de sítio (S). Para tal, basta considerar Hd_2 como sendo igual a S e I_2 a idade de referência.

$$S = \beta_0 \left(\frac{Hd}{\beta_0} \right)^{\frac{\ln(1 - e^{-\beta_1 I_{ref}})}{\ln(1 - e^{-\beta_1 I})}},$$

2º caso: Assumindo-se agora que β_0 está no lugar do parâmetro específico de sítio sendo β_2 constante para todos os sítios, então ao contrário do caso 1 tem-se curvas anamórficas. Assim considerando a mesma situação mostrada no caso 1, tem-se:

$$Hd_1 = \beta_{0i} (1 - \exp^{-\beta_1 I_1})^{\beta_2} \quad Hd_2 = \beta_{0i} (1 - \exp^{-\beta_1 I_2})^{\beta_2}$$

Isolando as expressões em relação a β_{0i} , igualando-as e resolvendo esta igualdade em relação a Hd_2 , tem-se que:

$$Hd_2 = Hd_1 / \left[\frac{1 - e^{-b_1 I_1}}{1 - e^{-b_1 I_2}} \right]^{b_2}$$

Um rearranjo na expressão anterior, semelhante ao já descrito na caso 1 fornece a equação que expressa o índice de sítio

$$S = Hd / \left[\frac{1 - e^{-b_1 I}}{1 - e^{-b_1 I_{ref}}} \right]^{b_2}$$

Na Tabela 2 pode-se observar os modelos cuja forma de ajuste pelo método da diferença algébrica é apresentada neste trabalho para fins de ajuste anamórfico.

Teste de anamorfismo

Para verificar o padrão de desenvolvimento das curvas alturas dominante idade implementou-se teste que verifica a existência da relação linear entre os índices de sítio e as alturas dominantes médias nas várias idades (King 1976; Scolforo e Machado 1988 a, b; Scolforo e Machado 1992; Campos et al 1985). A hipótese para identificar a existência de anamorfismo é que haja forte relação linear entre as variáveis envolvidas, que o intersepto tenha valor zero e que a inclinação tenha valores maiores que 1 para as menores idades, 1 na idade de referência e valores menores que 1 nas idades acima da idade de referência. Este fato expressa que o índice de sítio não depende da idade, mas

sim da capacidade produtiva do local. Implementa-se este teste utilizando a equação de sítio ajustada, e para cada idade obtém os valores de índice de sítio. Então estabelece uma relação linear entre o índice de sítio e altura dominante ($S = \beta_0 + \beta_1 Hd + e_i$) nas idades em estudo. A dispersão das observações individuais em relação à linha de regressão sugerem uma relação linear com intercepto zero, como sendo uma suposição válida para a maioria dos casos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) *Eucalyptus grandis*

Utilizando-se do teste de Bartlett (Sokal e Rohlf 1981) verificou-se que os dados não apresentam sua heterogeneidade de variância.

Utilizando-se todos os 560 pares de dados para testar os modelos que são tradicionais e frequentemente utilizados em trabalhos deste gênero, verificou-se que nenhum deles apresentou um ajuste satisfatório, apresentando coeficientes de determinação de no máximo 65% e uma distribuição de resíduos tendenciosa. Estes valores foram similares aos obtidos por Couto et al (1986) Campos et al (1985). Conforme pode-se constatar também nestes trabalhos a amplitude entre o menor e o maior valor de altura média das árvores dominantes é muito grande em todas as idades, chegando comumente a 15 ou 16 m na idade de 5 anos, por exemplo. Além desta dispersão a nível de idade existem ainda outros fatores que implicam na perda de correlação altura dominante-idade. O primeiro fator é um desequilíbrio na amostragem entre as idades sucessivas, principalmente, nos sítios mais produtivos. Um segundo fator é o elevado coeficiente de variação principalmente nas menores idades onde o desenvolvimento das plantas não depende só dos fatores do sítio. Por último, em algumas circunstâncias pode-se estar efetuando classificação de sítio em populações altamente heterogêneas face a qualidade das sementes, método de plantio e condução destes, o que fatalmente leva a uma maior heterogeneidade no desenvolvimento das árvores e a uma redução da correlação entre a altura média das árvores dominantes e a idade. Portanto, fez-se a opção para a classificação de sítio pelo método de ajuste de diferença algébrica, uma vez que neste método é estabelecida uma amarração entre as

alturas presente (Hd_1) e futura (Hd_2) respectivamente nas idades I_1 e I_2 . Neste caso além dos benefícios já citados anteriormente de se fazer uso do método da diferença algébrica, aumenta-se a correlação da variável altura dominante com a variável idade, o que implica em melhor desempenho da equação ajustada.

Dentre os modelos testados, destacou-se o modelo de Chapman-Richards. A forma de ajuste desenvolvida é:

$$Hd_2 = Hd_1 \left[\frac{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_2)}{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_1)} \right]^{b_2}$$

O modelo selecionado apresentou coeficiente de determinação de 83%, erro padrão de estimativa de 1,15m (o equivalente a 6,4%) e resíduos sem tendenciosidade. Com a equação gerada, passam a existir duas possibilidades de uso: A primeira é a obtenção da altura dominante à partir do índice de sítio, para isto utiliza-se a equação (1).

$$Hd = S \left[\frac{1 - \text{Exp}(-0,03028219 \cdot I)}{1 - \text{Exp}(-0,03028219 \cdot I.ref.)} \right]^{1,32156733} \quad (1)$$

A segunda possibilidade é a obtenção do valor do índice de sítio a partir da altura dominante, utilizando a equação (2).

$$S = Hd \left[\frac{1 - \text{Exp}(-0,03028219 \cdot I.ref.)}{1 - \text{Exp}(-0,03028219 \cdot I)} \right]^{1,32156733} \quad (2)$$

Devido a variabilidade nas alturas dominantes e as características do povoamento optou-se por 5 (cinco) classes de sítio com amplitude de 3 metros. Na tabela 3 apresenta-se as classes de sítio considerando-se a idade de referência que foi de 60 meses.

Para gerar as curvas limítrofes das classes de sítio nas várias idades, utilizou a equação (1). Na Tabela 4, apresentam-se os limites das alturas dominantes para diferentes idades, e a Figura 1 mostra a representação gráfica destes valores indicando

inclusive que o limite inferior foi em 13 m e o superior 28 m na idade de referência. Comparando estes limites àqueles obtidos por Batista e Couto (1986), os quais construíram curvas de produtividade dos sítios para **Eucalyptus grandis** no Estado de São Paulo pode-se notar que houve um acréscimo de 7 metros na idade índice (de 21 m para 28 m), muito provavelmente em consequência das novas práticas de plantio, e dos ganhos obtidos pela prática do melhoramento genético da espécie em questão.

a.1) Teste de anamorfismo

Utilizando-se a equação (2), foi possível obter os valores de índice de sítio em cada idade e realizar teste para verificar a existência ou não de anamorfismo dos dados. Observou-se que em todas as idades existiu uma alta correlação entre o índice de sítio e a altura dominante, sendo que nestas idades os coeficientes de correlação (R) sempre foram maiores que 0.99. A interseção β_0 foi aproximadamente igual a zero. A inclinação β_1 foi igual a 1 na idade de referência, sendo maior que 1 para menores idades e menor que 1 para maiores idades. Este comportamento indica que o índice de sítio não depende da idade, mas sim da capacidade produtiva do local o que indica que as curvas de índice de sítio para **Eucalyptus grandis** na região de Luiz Antonio tem um padrão anamórfico. Este mesmo comportamento foi observado por Scolforo (1992), para **Pinus caribaea** var **hondurensis** na região de Agudos-SP, Scolforo e Machado (1988 a,b) para **Pinus taeda** e **Pinus elliottii** no estado do Paraná e Santa Catarina e Campos et al (1985) para **Eucalyptus grandis** na região de Bom Despacho-MG.

Na Figura 2 pode-se observar este comportamento para as idades de 24(a), 48(b), 60(c) e 67(d) meses.

b) Eucalyptus urophylla

Para esta espécie, ao utilizar os 280 pares de dados para a classificação de sítio e construção das respectivas curvas, observou-se que estes apresentaram homogeneidade de variância, após aplicação do teste de Bartlett (Sokal e Rohlf, 1981).

Com relação ao ajuste dos modelos tradicionais o maior valor obtido para o coeficiente de determinação (R²) foi de 60,6%, acrescido de tendenciosidade na distribuição dos resíduos.

Mais importante que as estatísticas da regressão, particularmente para a elaboração das curvas de índice de sítio, a análise gráfica dos resíduos reveste-se de grande importância pois possibilita identificar a curva altura média das árvores dominantes-idade é de fato uma curva média ou apresenta tendenciosidade. Vale ressaltar que as curvas anamórficas são elaboradas todas a partir da curva média. Assim qualquer tendenciosidade nesta implica em distorção nas curvas limítrofes das classes de sítio a serem estabelecidas.

Este comportamento adverso para os modelos tradicionalmente utilizados no setor florestal provavelmente deve-se as mesmas razões já discutidas para *Eucalyptus grandis*. Pelas mesmas razões já expostas para *E. grandis* também fez-se a opção pelo método da diferença algébrica.

Após ajustar os modelos listados na Tabela 2 selecionou-se o modelo de Chapman-Richards, o qual apresentou um coeficiente de determinação (R²) de 77%, erro padrão da estimativa de 1,13m (o equivalente a 6,9%) e estimativa sem tendenciosidade dos resíduos.

Com a equação gerada, passam a existir duas possibilidades de manuseá-la. A primeira é a obtenção da altura dominante a partir do índice de sítio utilizando a equação (3).

$$Hd = S \left[\frac{1 - \text{Exp}(-0,04020838 \cdot I)}{1 - \text{Exp}(-0,04020838 \cdot Iref)} \right]^{1,73274789} \quad (3)$$

Outra possibilidade consiste em obter índice de sítio a partir da altura dominante, utilizando a equação (4).

$$S = Hd \left[\frac{1 - \text{Exp}(-0,04020838 \cdot Iref)}{1 - \text{Exp}(-0,04020838 \cdot I)} \right]^{1,732744789} \quad (4)$$

Estabeleceu-se também, para **Eucalyptus urophylla** a idade de referência de 60 meses, e cinco classes de sítio com intervalo de três metros, devido a amplitude das alturas dominantes. A Tabela 5 mostra o intervalo destas classes na idade de referência, de 60 meses.

Utilizando a equação 3, foram estabelecidos os limites inferior e superior de cada classe de sítio os quais são apresentados na Tabela 6. A figura 3 mostra a representação gráfica destes valores, indicando inclusive que o limite inferior foi de 11 m e o superior de 26 m na idade de referência.

b.1) Teste de Anamorfismo

Seguindo o mesmo processo usado para **Eucalyptus grandis**, mas utilizando a equação (4), calculou-se os valores de índice de sítio para cada idade em estudo, estabelecendo uma relação linear através da equação $S = \beta_0 + \beta_1.Hd$. Observou-se que para todas as idades houve forte correlação entre o índice de sítio e a altura dominante, com coeficiente de correlação (R) maior que 0,99. Como esperado a interseção β_0 foi aproximadamente zero em todas as idades. A inclinação β_1 seguiu o padrão relatado por Scolforo (1993), de que β_1 é igual a 1 na idade de referência, sendo tanto maior que 1 quanto menor a idade e sendo tanto menor que 1 quanto maior a idade. Isso evidencia o padrão anamórfico das curvas de sítio, já que a relação linear obtida indica que a qualidade de sítio não depende da idade mas sim da capacidade produtiva do local. Na figura 4 pode-se observar este comportamento para as idades de 24(a), 25(b), 60(c) e 64(d) meses.

CONCLUSÃO

O modelo biológico de Chapman-Richards foi o que melhor estimou as classes de sítio, apresentando coeficiente de determinação de 83% e um erro padrão da estimativa (Syx) equivalente a 6,4% para **E. grandis** e 77% de R^2 e 6,9% de erro padrão da estimativa para **E. urophylla**

Tanto para **Eucalyptus grandis**, como para **Eucalyptus urophylla**, o método da diferença algébrica se mostrou muito eficiente, devendo ser utilizado em outras situações.

O índice de sítio não depende da idade mas sim da capacidade produtiva do local, o que indica que as curvas altura dominante-idade tem padrão anamórfico para **Eucalyptus grandis** e para **Eucalyptus urophylla**, na região de Luís Antonio, SP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMDAG, I.S. National site index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada. **Canadian J. for. res.** v. 21, p. 1466-1474, 1991.

BAILEY, R.L.; CLUTTER, J.L. Base age invariant polymorphic site curves. **Forest Science**, v. 20, n. 2, p. 155-159, 1974.

BATISTA, J.L.F ; COUTO, H.T.Z. Escolha de modelos matemáticos para construção de curvas de índice de sítio para florestas implantadas de **Eucalyptus** sp no estado de São Paulo. **IPEF**, Piracicaba, v. 32, p. 33-42, Abr. 1986.

BORDERS, B.E.; BAILEY, R.L.; WARE, K.D. Slash site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method. **Forest Science**, v. 30, n. 2, p. 423-441, 1984.

CAMPOS, J.C.C.; TORQUATO, M.C. ; RIBEIRO, G.A. Equações para calcular índices de local e incremento da altura em plantações puras de **Eucalyptus grandis**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 9, n. 1, p. 1-9, 1985.

- CAO, Q.V. ; DURAND, K.M. Site index curves for eastern cottonwood plantations in the lower Mississippi Delta. **South J. Appl. For.** , v. 15, n. 1, p. 28-30, 1991.
- COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. ; LACERDA, J.S. Comparação de dois modelos de prognose de madeira de **Eucalyptus** para alto fuste e talhadia. IPEF, Piracicaba, v. 41/42 , p.27-35, 1989.
- GOELZ, J.C.G. ; BURK, T.E. Development of a well-behaved site index equation: Jack pine in north central Ontario. **Can. J. For. Res.**, v. 22 , p. 776-784, 1992.
- GONZALEZ, A.M.F.; SMITH, D.M. ; MALDONADO, H.R. Site index for **Pinus caribaea** var. **honolurensis** in “La Sabana”, Oaxaca, Mexico. **Commonwealth Forestry Review** , v. 71, n. 1, p. 47-51, 1992.
- HACKER, W.D.; BILAN, M.V. Site index curves for loblolly an slash pine plantations in the post oak belt of east Texas. **South J. Appl. For.**, v. 15, n. 2, p. 97-100, 1991.
- MACHADO, S. do A. Curvas de índice de sítio para plantações de **Pinus taeda** L. na região central do Estado do Paraná. Curitiba. Revista Floresta. v.11 ,n.2, p 4 -18, 1980.
- MAESTRI, R. Estimativa de produção presente e futura de volume de madeira e peso de casca para povoamento de Acácia-negra (**Acacia mearnsii**). 1992. 102p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do paraná.
- McDILL, M.E. ; AMATEIS, R.L. Measuring forest site quality using the parameters of a dimensionally compatible height growth function. **Forest Science** , v. 38, n. 2 , p. 409-429, 1992.
- NEWTON, P.F. Base-age invariant polymorphic site index curves for black spruce and balsam fir within central new found land. **North. J. Appl. For.** v. 9, n. 1, 18-22. 1992.

- SCOLFORO, J.R.S. Mensuração florestal 4. Classificação de sítios florestais Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 138p.
- SCOLFORO, J.R.S. Curvas de índice de sítio para **Pinus caribaea** var. **hondurensis**. IPEF, Piracicaba , v. 45, p. 40-47, 1992.
- SCOLFORO, J.R.S. ; MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio, para plantações de **Pinus elliottii** nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 18, n. 112, p. 140-158, jun./dez. 1988.
- SCOLFORO, J.R.S. ; MACHADO, S.A. Curvas de índice de sítio para plantações de **Pinus taeda** nos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Revista Floresta**, Curitiba, v.18, n.1-2, p.159-173, 1988.
- SOKAL, Q.N.; ROHLF, F.J. **Biometry** Freeman, San Francisco, 859p. 1981.
- STANSFIELD, W.F.; McTAGUE, J.P. ; LACAPA, R. Dominant height and site index equations for Douglas fir and Engelmann Spruce in East. Central Arizona . **West. J. Appl. For.** , v. 7, n. 2, p. 40-44. 1992.

TABELA 1. Modelos testados para expressar a capacidade produtiva dos diferentes locais em função da idade.

1.	$Hd = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(I) + ei$
2.	$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 (1/I) + ei$
3.	$Hd = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2(I)^2 + ei$
4.	$Hd = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2(I)^3 + ei$
5.	$Hd = \beta_0 + \beta_1 I^{0.5} + \beta_2 I + ei$
6.	$Hd = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2(I)^2 + \beta_3 I^{0.5} + ei$
7.	$Hd = \beta_0 + \beta_1 I + \beta_2 (1/I) + ei$
8.	$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}(I) + \beta_2 [\text{Ln}(I)]^2 + ei$
9.	$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 (1/I) + \beta_2 (1/I)^2 + ei$
10.	$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 (1/I) + \beta_2 (1/I)^2 + \beta_3 (1/I)^3 + ei$
11.	$Hd = \frac{I^2}{b_0 + b_1 I + b_2 I^2} + ei$
12.	$Hd = \beta_0 [1 - \text{Exp}(\beta_1 I)] + ei$
13.	$Hd = \beta_0 [1 - \text{Exp}(\beta_1 I)]^{\beta_2} + ei$
14.	$Hd = \beta_0 [1 - \text{Exp}(\beta_1 I^{\beta_2})] + ei$
15.	$Hd = \beta_0 [1 - \text{Exp}(\beta_1 I^{\beta_2})]^{\beta_3} + ei$

Onde:

Hd = Altura dominante (altura média das 100 árvores de maior diâmetro por hectare);

I = Idade em meses;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ = parâmetros a serem estimados;

Ln = Logaritmo natural

ei = Erro de estimativa

TABELA 2. Modelos testados para expressar a capacidade produtiva dos diferentes locais em função da idade, pelo método da diferença algébrica.

Autor	Modelos	Forma de ajuste
Schumacher 1	$Hd = \beta_0 \text{Exp}(\beta_1/I)$	$Hd_2 = Hd_1 \text{Exp}[\beta_0(1/I_2 - 1/I_1)]$
Schumacher 2	$Hd = \beta_0 \text{Exp}(\beta_1/I)^{\beta_2}$	$Hd_2 = Hd_1 / \{\text{Exp}[\beta_1(I_1^{-\beta_2} - I_2^{-\beta_2})]\}$
Monomolecular	$Hd = \beta_0[1 - \text{Exp}(\beta_1 I)]$	$Hd_2 = Hd_1 \left[\frac{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_2)}{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_1)} \right]$
Bailey com três parâmetros	$Hd = \beta_0[1 - \text{Exp}(\beta_1 I^{\beta_2})]$	$Hd_2 = Hd_1 \left[\frac{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_2^{\mathbf{b}_2})}{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_1^{\mathbf{b}_2})} \right]$
Bailey com quatro parâmetros	$Hd = \beta_0[1 - \text{Exp}(\beta_1 I)^{\beta_2}]^{\beta_3}$	$Hd_2 = Hd_1 \left[\frac{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_2^{\mathbf{b}_2})}{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_1^{\mathbf{b}_2})} \right]^{\beta_3}$
Chapman-Richards	$Hd = \beta_0[1 - \text{Exp}(\beta_1 I)]^{\beta_2}$	$Hd_2 = Hd_1 \left[\frac{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_2)}{1 - \text{Exp}(\mathbf{b}_1 I_1)} \right]^{\beta_2}$

Onde:

Hd_1, Hd_2 = altura dominantes nas idades I_1 e I_2 , respectivamente,

Exp = exponencial;

β is = coeficientes da regressão (a serem estimados);

I = idade em meses;

Ln = Logaritmo natural

ei = erro de estimativa

TABELA 3. Classes de sítio adotadas para **Eucalyptus grandis** na região de Luis Antonio - SP

Classes de Sítio	Intervalo (m)		Índices de Sítio
I	25,0	28,0	26,5
II	22,0	25,0	23,5
III	19,0	22,0	20,5
IV	16,0	19,0	17,5
V	13,0	16,0	14,5

TABELA 4. Limites das alturas dominantes estimados por idade e classes de produtividade para **Eucalyptus grandis**.

Idade (meses)	Classe de Sítio									
	V		IV		III		II		I	
06	1,5	1,9	1,9	2,2	2,2	2,6	2,6	2,9	2,9	3,3
12	3,4	4,2	4,2	5,0	5,0	5,8	5,8	6,6	6,6	7,4
18	5,2	6,4	6,4	7,6	7,6	8,8	8,8	10,1	10,1	11,3
24	6,9	8,5	8,5	10,0	10,0	11,6	11,6	13,2	13,2	14,8
30	8,3	10,2	10,2	12,1	12,1	14,1	14,1	16,0	16,0	17,9
36	9,5	11,8	11,8	14,0	14,0	16,2	16,2	18,4	18,4	20,6
42	10,6	13,1	13,1	15,5	15,5	18,0	18,0	20,5	20,5	22,9
48	11,6	14,2	14,2	16,9	16,9	19,6	19,6	22,2	22,2	24,9
54	12,3	15,2	15,2	18,0	18,0	20,9	20,9	23,7	23,7	26,9
60	13,0	16,0	16,0	19,0	19,0	22,0	22,0	25,0	25,0	28,0
66	13,6	16,7	16,7	19,8	19,8	22,9	22,9	26,1	26,1	29,2
72	14,0	17,3	17,3	20,5	20,5	23,7	23,7	27,0	27,0	30,2
78	14,4	17,7	17,7	21,1	21,1	24,4	24,4	27,7	27,7	31,1
84	14,7	18,1	18,1	21,6	21,6	25,0	25,0	28,4	28,4	31,8
90	15,3	18,8	18,8	22,3	22,3	25,8	25,8	29,3	29,3	32,7

TABELA 5 - Classes de sítio consideradas para **E. urophylla** na região de Luís Antonio
- SP

Classes de Sítio	Intervalo (m)		Índices de Sítio (m)
I	23,0	26,0	24,5
II	20,0	23,0	21,5
III	17,0	20,0	18,5
IV	14,0	17,0	15,5
V	11,0	14,0	12,5

TABELA 6 - Limites das alturas dominantes estimados por idade e classes de produtividade para **E. urophylla**

Idade (meses)	Classes de sítio									
	V		IV		III		II		I	
06	0,9	1,1	1,1	1,4	1,4	1,6	1,6	1,9	1,9	2,1
12	2,5	3,1	3,1	3,8	3,8	4,5	4,5	5,1	5,1	5,8
18	4,1	5,2	5,2	6,3	6,3	7,5	7,5	8,6	8,6	9,7
24	5,6	7,1	7,2	8,7	8,7	10,3	10,3	11,8	11,8	13,3
30	7,0	8,9	8,9	10,8	10,8	12,7	12,7	14,6	14,6	16,5
36	8,1	10,3	10,3	12,5	12,5	14,8	14,8	17,0	17,0	19,2
42	9,1	11,6	11,6	14,0	14,0	16,5	16,5	19,0	19,0	21,5
48	9,9	12,5	12,5	15,2	15,2	17,9	17,9	20,6	20,6	23,3
54	10,5	13,4	13,4	16,2	16,2	19,1	19,1	21,9	21,9	24,8
60	11,0	14,0	14,0	17,0	17,0	20,0	20,0	23,0	23,0	26,0
66	11,4	14,5	14,5	17,6	17,6	20,7	20,7	23,9	23,9	27,0
72	11,7	14,9	14,9	18,1	18,1	21,3	21,3	24,5	24,5	27,7
78	12,0	15,7	15,7	18,5	18,5	21,8	21,8	25,1	25,1	28,3
84	12,2	15,5	15,5	18,8	18,8	22,1	22,1	25,5	25,5	28,8

90	12,3	15,7	15,7	19,1	19,1	22,5	22,5	25,8	25,8	29,2
96	12,5	15,9	15,9	19,3	19,3	22,7	22,7	26,1	26,1	29,5

FIGURA1. Curvas limites das classes de sítio para **Eucalyptus grandis**.

(a)
R= 100%
 $\beta_0 = 0,000066$
 $\beta_1 = 1,893921$

(b)
R=100%
 $\beta_0 = 0,000035$
 $\beta_1 = 1,124623$

(c)
R=100%
 $\beta_0 = 0,000000$
 $\beta_1 = 1,000000$

(d)
R= 100%
 $\beta_0 = -0,00007$
 $\beta_1 = 0,95304$

FIGURA 2. Índice de sítio em relação a altura dominante para idade de 24, 48, 60 e 67 meses.

FIGURA 3 - Curvas limites das classes de sítio para **Eucalyptus urophylla**

(a)
R= 100%
 $\beta_0 = 0,00006$
 $\beta_1 = 1,951159$

(b)
R= 100%
 $\beta_0 = 0,000084$
 $\beta_1 = 1,871789$

(c)
R = 100%
 $\beta_0 = 1,29 \text{ E-}13$
 $\beta_1 = 1$

(d)
R = 100%
 $\beta_0 = 0,000099$
 $\beta_1 = 0,97519$

FIGURA 4: Índice de sítio em relação a altura dominante para as idades de 24, 48, 60 e 67 meses