

# CLASSIFICAÇÃO DE SÍTIO PARA POVOAMENTO DE *Pinus taeda* NO SUL DO BRASIL\*

Yeda Maria Malheiros de Oliveira

Edilson Batista de Oliveira

CNPF/EMBRAPA, Curitiba - Paraná - Brasil

William Leroy Hafley

NCSU - North Carolina State University - USA

## RESUMO

Apresenta-se resultados do estudo visando o desenvolvimento de curvas de índice de sítio para *Pinus taeda* L. através da análise de tronco de 143 árvores dominantes provenientes dos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. O estudo permitiu verificar a existência de polimorfismo entre as curvas, além de ter gerado um instrumento gráfico para a classificação da produtividade dos povoamentos de *Pinus taeda*. Pelo teste de hipótese de paralelismo e de diferenças de posição, adotado para esta verificação, não se detectou diferenças significativas nos parâmetros das regressões ajustadas.

## 1 — INTRODUÇÃO

Em decorrência da política de incentivos fiscais ao florestamento/reflorestamento estabelecida no Brasil a partir de 1966, foram implantados aproximadamente 1.800.000 ha de florestas com espécies do gênero *Pinus*. Deste total, cerca de 65% encontram-se nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, em sua maioria *Pinus taeda* e *P.elliottii*.

A existência deste patrimônio pressupõe a necessidade do seu gerenciamento racionais e orientado. Para isso, são ferramentas fundamentais de planejamento os estudos que permitam prognosticar o potencial produtivo dos povoamentos florestais, permitindo a definição de programas de sustentação do volume de madeira necessário a um determinado empreendimento florestal. Uma dessas ferramentas utilizadas para a otimização do planejamento do uso de recursos florestais é o índice de sítio, que contribui para a medição da produção qualitativa e quantitativa das florestas, além de concorrer para as decisões acerca das alternativas de manejo.

Com o desenvolvimento do presente trabalho pretendeu-se:

a) promover a solução analítica de função de crescimento adequadas para expressar a relação entre altura dominante e idade de povoamentos de *P. taeda* em crescimento no Sul do Brasil;

b) elaborar um instrumento gráfico que permita a classificação da produtividade (ou ritmo de crescimento) dos povoamentos integrantes da população amostrada.

\* Trabalho apresentado no 6.º Congresso Florestal Brasileiro, realizado em Campos do Jordão — São Paulo — Brasil, de 22 a 27 de setembro de 1990.

## 2 — REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sítio é (SPURR & BARNES 1980) a soma de todos os fatores que afetam a capacidade de produção das florestas ou outro tipo de vegetação, incluindo fatores edafo-climáticos e biológicos. Assim o sítio é o fator-chave para a determinação da magnitude da produção (SPURR 1952).

Dentre os fatores que determinam o crescimento e produção está a capacidade produtiva inerente a cada área, que é, basicamente, a qualidade do sítio, definida como o potencial de produção de um local para uma determinada espécie ou tipo florestal (CLUTTER et al. 1983).

A determinação da qualidade do sítio tem grande importância prática e é normalmente requerida como input em simuladores ou otimizadores do crescimento e da produção. Portanto, muitos esforços tem sido devotados ao desenvolvimento de métodos para a sua quantificação. Algumas técnicas e seus usos no Brasil são apresentadas por OLIVEIRA & AHRENS (1984).

Nas metodologias mencionadas na literatura estão agrupados os denominados métodos diretos (CLUTTER et al. 1983) ou elementos dendrométricos (BURGER 1975), que consideram a altura das árvores dominantes de uma espécie a uma determinada idade como a variável mais estreitamente correlacionada com a capacidade produtiva do sítio (SPURR & BARNES 1980).

Dentre os procedimentos para o desenvolvimento de equações de índice de sítio encontra-se o método de predição de parâmetros (CLUTTER et al. 1983), o qual requer a reconstrução do padrão de desenvolvimento de altura/idade de árvores individuais através de técnicas de análise de tronco ou medição de altura e idade em parcelas permanentes. Como parcelas permanentes nem sempre estão disponíveis muito têm-se utilizado da análise de tronco, que, segundo CURTIS (1964) resulta em uma informação realística da produtividade potencial do sítio.

## 3 — MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. Coleta dos dados

A coleta de dados foi realizada nos Estado do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A delimitação da área para o Estado do Paraná foi obtida através de mapeamento de informações contidas no "Inventário Nacional de Florestas Plantadas" (anexo-cadastramento) desenvolvido pelo convênio Fundação da Universidade Federal do Paraná/IBDF-Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, listando-se todos os plantios com idade mínima de 10 anos. Com relação aos demais Estados, foram obtidas informações através das Delegacias Regionais do então IBDF.

Após a definição dos locais, foram alocadas parcelas de 400 m<sup>2</sup> em povoamentos de no mínimo 7 anos, com desenvolvimento aparentemente não influenciado por situações extremas. Foram consideradas dominantes as árvores com DAP superior à média da parcela mais duas vezes o desvio padrão da respectiva distribuição diamétrica. Uma árvore dominante por parcela foi der-

rubada e seu tronco seccionado. Discos com aproximadamente 6 cm de espessura foram retirados a 0.10, 0.30, 0.50 e 1.30 m de altura e, a partir deste, a intervalos de 2 m, evitando-se zonas com nós aparentes.

Optou-se pela coleta destas informações na estação dormente de crescimento apical. Na Tabela I apresenta-se o número de árvores mensuradas para cada idade e classe de sítio.

A análise de tronco foi realizada segundo metodologia proposta por BARUSSO (1977) e os dados submetidos a software desenvolvido pelo mesmo autor o qual baseia-se na teoria do paralelismo.

Com os resultados da análise de tronco, obteve-se os pares de valores altura/idade. Apesar de os dados permitirem o desenvolvimento de curvas polimórficas, optou-se pelo ajuste de forma anarmórfica, preliminarmente, procurando-se em seguida testar o modelo para o polimorfismo, isto é, verificar a tendência dos dados em apresentar, para uma mesma idade, a altura de duas ou mais curvas em proporção não constante.

### 3.2. Idade índice

A idade índice deve ser selecionada o mais próximo possível da rotação calculada, pois, para o planejamento do estoque de matéria-prima disponível, é muito importante conhecer as diferenças entre sítios também nesta idade (BURGER 1975). Considerando-se os dados disponíveis, selecionou-se a idade 15 para índice, e o intervalo entre classes de sítio foi de 2,0 metros.

### 3.3. Escolha do modelo

Existem muitos modelos que consideram a altura como uma função da idade para a obtenção do índice de sítio. No presente trabalho, procurou-se verificar aqueles que tem sido mais eficientes para conjuntos de dados com muitas idades jovens, já que a maioria dos modelos não-lineares conhecidos são freqüentemente pouco flexíveis para extrapolações quando do ajuste destas idades.

O modelo selecionado foi:

$$\ln(\text{altura}) = a + b * \text{idade}^{-c} \quad (1)$$

Utilizando-se idade índice 15, o índice de sítio é, então:

$$\ln(\text{índice de sítio}) = a + b/15^{-c} \quad (2)$$

Resolvendo-se (2) para o coeficiente "a" e substituindo-se em (1) produz-se a função anarmórfica de índice de sítio:

$$\ln(\text{altura}) = \ln(\text{índice de sítio}) + b*(1/\text{idade})^{-c} - c - 1/15^{-c} \quad (3)$$

Para as árvores com 15 anos ou mais, o índice de sítio foi obtido pela análise de tronco. Para árvores com idades inferiores a 15 anos, foi obtido por:

$$\ln(\text{índice de sítio}) = \ln(\text{altura}) + b*(1/\text{idade})^{-c} - c - 1/15^{-c}$$

onde altura e idade são agora os valores obtidos na coleta de dados.

Usando esta estimativa para o índice de sítio, a equação (3) pode ser usada para predizer as alturas de todas as árvores no conjunto de dados e para a consequente obtenção dos resíduos, úteis quando do exame da precisão da equação.

### 3.4. Anamorfismo

A existência de anamorfismo foi checada através do teste de Hipótese de Paralelismo e de diferenças de posição, conforme Williams (1959). Para cada idade foram ajustadas equações dos resíduos obtidos para cada árvore com a respectiva altura aos 15 anos, através do modelo:

$$\text{resíduo} = a + b \text{Ht}15$$

onde:

$$\text{resíduo} = \text{Altura estimada} - \text{Altura Dominante}$$

Nas Tabelas 2 e 3 são apresentados os esquemas de análise de variância e expressões das somas de quadrados utilizados.

## 4 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parcelas permanentes fornecem os melhores dados para o desenvolvimento de equações de índice de sítio. Como estes dados não estão disponíveis a não ser anos após o estabelecimento das parcelas e com um custo bastante alto, vários autores tem-se utilizado de dados obtidos através da análise de tronco, já que estes possuem praticamente a mesma qualidade daqueles obtidos por medições anuais.

No presente trabalho foi possível observar a importância de uma análise detalhada dos resultados da análise de tronco identificando-se possíveis erros em termos de crescimento excessivo em um determinado ano. Deve-se estar atento ao incremento que se pode esperar ou aceitar nas idades de máximo crescimento e nas subsequentes. A omissão de um anel (que pode acontecer freqüentemente, principalmente com aqueles localizados no centro do disco) pode levar a imprecisões. A contagem de um anel falso, por outro lado, também desconfigura a recuperação exata do crescimento em altura ao longo do tempo. Assim, algumas das árvores pertencentes à amostra foram reexaminadas, eliminando-se, desta forma, fontes de erro consideráveis.

### 4.1. Estimativas das alturas

Através dos dados obtidos pela análise de tronco, as alturas foram estimadas com a utilização da equação (3), expressa a seguir na forma exponencial:

$$\text{Hte} = \text{HT}15 * \exp \{-5,22036037 * [(1/I) - 0,36 - 0,377230]\}$$

onde:

Hte = altura estimada

HT15 = altura dominante aos 15 anos

I = idade

Para as estimativas das alturas aos 15 anos para árvores com idades inferiores a esta utilizou-se da equação (4):

$$HT_{15} = Ht \cdot \exp \{-5,22036037 \cdot [(1/l) - 0,36 - 0,377230]\}$$

O valor para o coeficiente  $c$ , no caso 0,36 das equações (3) e (4) foi obtido com o uso do conjunto de dados total através procedimentos de regressão não linear.

#### 4.2. Análise dos resíduos

A análise dos resíduos (valores estimados-valores observados) é um passo importante na verificação da adequabilidade da equação. Tais resíduos foram observados árvore a árvore para determinar se algumas apresentavam valores excessivos. Observou-se que valores residuais excessivos ocorriam em várias idades da árvore, sugerindo erros de medição, normalmente detectados como omissão de um anel. Os erros de omissão de anéis são muito comuns principalmente nas localizadas no centro do disco. Outro tipo de erro comum é a avaliação de um anel falso como verdadeiro. Isto tornou necessário cuidados nas avaliações e freqüentes reexames dos discos (fatias).

Quase todos os valores de resíduo estiveram concentrados nos intervalos de confiança de  $t$  0,05 para cada idade. Os valores que ultrapassaram estes intervalos ocorreram de forma casual, o que foi atestado através do Teste de Paralelismo.

Os resíduos em todas as árvores foram também examinados com o objetivo de determinar se o polimorfismo ou outra característica relacionada com sítio poderia ser verificado.

#### 4.3. Verificação do anamorfismo

O método de curvas anamórficas foi desenvolvido por BRUCE (1926). O procedimento, que mostrou-se simples e prático assume que existe uma relação proporcional e constante entre as curvas de crescimento para todos os sítios e condições do povoamento, o que pode ser uma fonte de erros. Assim, vários autores tem-se utilizado de curvas de crescimento em altura não proporcionais ou polimórficas para diversas espécies. Se este polimorfismo é pronunciado, não apenas introduz erros na estimativa do índice de sítio como pode apresentar valores irreais como medida de produtividade relativa, exceto quando a idade de referência usada coincide com a rotação esperada (CURTIS 1964).

Segundo HAFLEY (1989) as curvas anamórficas têm sido utilizadas para determinação de curvas de índice de sítio por mais de 40 anos, as tentativas para desenvolver curvas polimórficas tem resultado em equações que podem demonstrar um polimorfismo muito pequeno, e as evidências para suportá-lo geralmente não são fortes. A existência de polimorfismo foi verificada pelo teste de hipótese de paralelismo, conforme Tabelas 4 e 5.

A hipótese de que as regressões tem diferentes inclinações foi rejeitada ( $F = 0,517$ ). Com a rejeição do paralelismo foi realizado o teste de coincidência para verificar se as equações possuíam o mesmo ponto de intersecção com o eixo  $Y$ . Apesar do valor de  $F$  ter sido estatisticamente significativo, nenhuma tendência foi

observada entre as diferentes idades das árvores. Assim, o anamorfismo para as curvas de sítio dos dados utilizados pôde ser assumido.

Adicionalmente, analisou-se que, caso o polimorfismo fosse bem caracterizado, usando-se curvas anamórficas, ter-se-ia uma tendência de super ou subestimativas em sítios bons e do oposto em sítios ruins, o que não ficou evidenciado na análise de todo o conjunto de dados utilizado, num total de 1600 dados de altura, altura estimada e idade.

A Figura 1 apresenta as curvas de índice de sítio desenvolvidas para *P. taeda* com o presente trabalho.

### 5 — CONSIDERAÇÕES FINAIS

As curvas anamórficas geradas não se mostram tendenciosas, embora alguns altos valores de resíduos tenham sido observados em idades superiores a 21 anos, basicamente motivados pelo reduzido número de observações nestas idades. Assim, sugere-se cautela no uso de tais curvas em povoamentos mais velhos.

Também sabe-se das grandes influências externas no incremento em altura em idades jovens. Nestas idades, no caso inferiores a 6 anos verifica-se que os intervalos de altura a que cada classe é submetida são muito pequenos, possibilitando erros na interpretação do potencial de crescimento de povoamentos.

O trabalho apresenta resultados em classes relativas de sítio, forma mais usual no Brasil e Europa. Entretanto, considera-se mais ilustrativa a apresentação sob a forma absoluta, ou seja  $IS = 23$  significa altura dominante de 23 m aos 15 anos, ao invés de Classe I. No caso do presente trabalho, a correspondência seria:

IS < ou	15	..	17	..	19	..	21	..	23	..	25	ou >
Classe			V		IV		III		II		I	

O sistema de classificação de sítio desenvolvido no trabalho foi incorporado ao SisPinus, simulador de crescimento e de produção para *P. elliotii* e *P. taeda* estabelecidos no Sul do Brasil. Este software, utilizado em PC's compatíveis, foi originalmente desenvolvido na Universidade Estadual da Carolina do Norte-EUA e adaptado para o Brasil pelo Dr. William Hafley e Pesquisadores do CNP-Florestas, em 988/1989. O sistema possibilita, através da informação de algumas características e medições de um povoamento de pinus ainda jovem, estimar, por classes de diâmetro, o que este produziria a cada ano subsequente. A equação de sítio pode ser facilmente retirada do sistema e substituída por outra que tenha sido desenvolvida especificamente para um determinado local.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARUSSO, A.P. *A determinação de funções de crescimento mediante análise de tronco*. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1977. 133 p. Tese Mestrado.
- BURGER, D. *Ordenamento florestal I; a produção florestal*. Curitiba, Curso de Engenharia Florestal da UFPR, 1976., 1 v. p. 6.253.

- CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H. & BAILEY, R.L. *Timber management*; a quantitative approach. New York, J. Wiley, 1983. 333 p.
- CURTIS, R.O. A stem-analysis approach to site-index curves. *For. Sci.*, 10(2):241-56, 1964.
- HAFLEY, W.L. Growth and yield model for *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* in Brazil; relatório final de consultoria. 1989. 15 p. mimeografado.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Departamento de Economia Florestal, Brasília, DF. *Inventário nacional das florestas plantadas nos Estados do Paraná e Santa Catarina*; relatório final — anexo I — Lei 5.106 — Estado do Paraná. Curitiba, IBDF/Fundação

da UFPR para o Desenvolvimento da Ciência, da Tecnologia e da Cultura, 1982. 234 p.

- OLIVEIRA, Y.M.M. de & AHRENS, S. Classificação da produtividade de povoamentos de *P. elliottii* e *P. taeda* estabelecidos no sul do Brasil. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 5., Nova Prata, 1984. *Anais...* Nova Prata, Secretaria de Agricultura do RS/Prefeitura de Nova Prata, 1985. p. 571-81.
- SUPRR, F. *Forest inventory*. New York, Ronal Press, 1952. 476 p.
- SUPRR, S.H. & BARNES, B.V. *Forest ecology*. 3. ed. New York, J. Wiley, 1980. 687 p.
- WILLIAMS, E.J. *Regression analysis*. New York, J. Wiley, 1959. 214 p.

TABELA I

DISTRIBUIÇÃO DAS ÁRVORES COLETADAS POR IDADE E CLASSE DE SÍTIO, NOS ESTADOS DO PARANÁ, SANTA CATARINA E RIO GRANDE DO SUL

Classes de Sítio	Idade															Total			
	07	08	00	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		22	23	26
V — < 16,99 m				1	3	1	2	1	1	1									10
IV — 17 a 18,99 m				2	2		2	4	3	4			2						19
III — 19 a 20,99 m		1		2			3	2	8	2	6	7	2	1	1		1		36
II — 21 a 22,99 m		1		1	2	1	5	7	6	3	8	6	1	2	1				44
I > que 23 m	2	2		3	3	5	4	4	4	3	4	1	1		1			1	34
Total	2	4		9	7	9	13	17	22	13	20	14	5	4	2		1	1	143

TABELA II

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TESTE DE DIFERENÇA DE COEFICIENTES DE REGRESSÃO

Fontes de Variação	g. l.	Somas de Quadrados
Regressão Combinada	p	$E[(X_{ij}-\bar{X}_i)(Y_{ij}-\bar{Y}_i)]^2 / (X_{ij}-\bar{X}_i)^2$
Diferença entre Regressões	(m-1)p	Total de SQ regressões para regressões individuais
Resíduo Combinado	n-mp-m	Por diferença
Total entre grupos	n-m	Total de SQ total para regressões individuais

TABELA III

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TESTES DE DIFERENÇA DE POSIÇÃO

Fontes de Variação	g. l.	Somas de Quadrados
Regressão com todos os dados	p	SQ Regressões com todos os dados em conjunto
Diferença entre posições	m-1	Resíduo combinado - SQ Regressões com todos os dados
Diferença entre Regressões	(m-1)p	Total de SQ Regressões para regressões individuais
Resíduo Combinado	n-mp-m	Por diferença
Total	n-1	

p é o número de variáveis independentes no modelo;  
m é o número de regressões testadas;  
n é o número total de observações.

TABELA IV

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TESTE DE HOMOGENEIDADE DE REGRESSÕES

Fontes de Variação	g. l.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio
Regressão Combinada	1	1,2367	
Diferença entre regressões	21	9,1099	0,4816 (ns)
Resíduos Combinados	2080	1001,6427	0,4816
Total entre grupos	2102	1011,9804	

ns — não significativo

TABELA V

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA TESTE DE HOMOGENEIDADE DE POSIÇÕES

Fontes de Variação	g. l.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio
Over-all Regression	1	0,8011	
Diferença entre Posições	21	59,5176	2,8342**
Diferença entre Regressões	2123	9,1099	0,4338 (ns)
Resíduos Combinados	2080	1001,6427	0,4816
Total	2123		

\*\* — significativo pelo teste F-nível de significância de 1%  
ns — não significativo

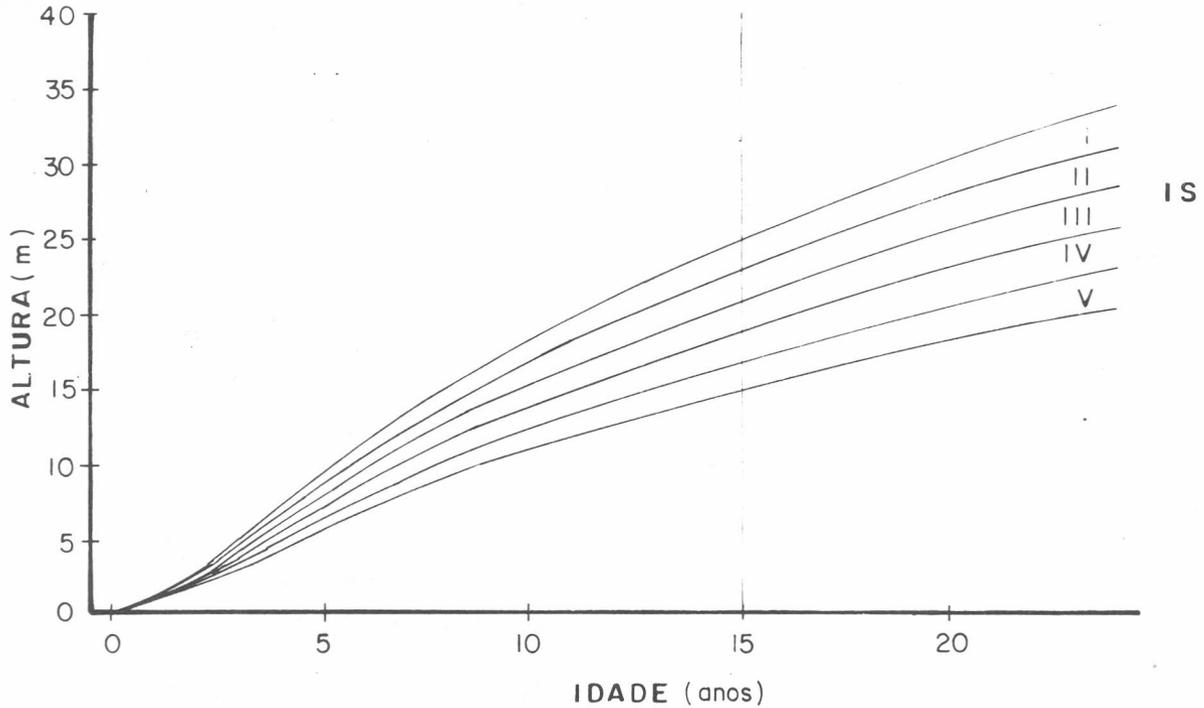


Figura 1: Curvas de índices de sítio para Pinus Taeda.