

## **MODELAGEM PARA PROGNOSE PRECOCE DO NÚMERO DE ÁRVORES E ÁREA BASAL POR CLASSE DIAMÉTRICA PARA *Tectona grandis***

Carlos Roberto Sanquetta, Jaime Antonio Ubialli, Celso Paulo Azevedo, Luiz Marcelo B. Rossi e Ana Paula Dalla Corte

Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais Jardim Botânico, Curitiba, Paraná, Brasil

### **RESUMO**

O presente estudo teve como objetivo modelar os atributos da floresta: sítio, sobrevivência, variância dos diâmetros, área basal e média aritmética dos diâmetros e; ajustar a função probabilística de Weibull pelo método de momentos (recuperação de parâmetros) para prognose precoce da área basal e número de árvores por classe diamétrica. O estudo foi desenvolvido com dados de *Tectona grandis* provenientes do Estado do Mato Grosso. Para o desenvolvimento do estudo, foi feita a classificação de sítio, o ajuste dos modelos de sobrevivência e área basal, bem como o ajuste da distribuição diamétrica pela função de Weibull. Utilizaram-se as informações de cada parcela (18 ao todo) e definiu-se a idade de 7 anos para ter-se a projeção do número de árvores e área basal. Os principais resultados obtidos para os atributos do povoamento, de acordo com as estatísticas encontradas, propiciaram estimativas precisas. A metodologia empregada utilizando-se o método de recuperação de parâmetros da função Weibull representou uma aproximação realística à estimação da estrutura do povoamento.

**Palavras chaves:** crescimento; distribuição diamétrica; recuperação de parâmetros; predição do povoamento; produção florestal.

### **ABSTRACT**

This paper shows a modeling framework to predict forest attributes: site, survival, diameter variance, basal area, and diameter mean, as well as to represent the diameter distribution of the stand. The Weibull density probability function by the method of moments (parameter recovery) was applied to early prediction of future number of trees and basal area by diameter class. The study was carried out by using data from young teak (*Tectona grandis*) stands located in Mato Grosso State, Brazil. For this purpose, site class, survival, basal area, and tree diameter distribution functions were fitted. Predictions of number of trees and basal area per hectare were done for each of the 18 sample plots using in the study up to age 7 years. The modeling framework provided reliable estimates of the stand attributes. The method of parameters recovery using the Weibull function proved to be an accurate approach to modeling stand structure.

**Key words:** growth; diameter distribution; parameter recover; prediction; forest yield.

### **INTRODUÇÃO**

Modelos de crescimento e produção têm uma longa história em Ciência Florestal. Por volta de 1850, pesquisadores da Europa Central

usaram métodos gráficos para modelar o crescimento e produção de florestas. Tabelas de produção, baseadas sobre observações de campo para toda a rotação, foram construídas para espécies importantes da Europa. Em contraste, tabelas de produção americanas construídas nos anos 1920 – 1940 foram baseadas sobre a adoção de curvas guias.

O desenvolvimento e uso de modelos de simulação da dinâmica dos ecossistemas florestais crescem cada vez mais e tem se convertido em uma necessidade, não só para pesquisadores, como também para planejadores de uso dos recursos naturais (SHEIL, 1995).

Os modelos são desenhados para uma situação determinada e para cumprir objetivos específicos. De uma forma geral, o modelo é aquele que, segundo os objetivos do usuário, (a) simplifica a escala de trabalho, (b) resume um grande volume de informação, (c) permite uma rápida visualização do sistema e (d) possibilita a avaliação de possíveis resultados. Por isso, constituem uma ferramenta fundamental para o planejamento e tomada de decisão em vários setores.

Alguns modelos (VANCLAY, 1989; ALDER, 1995 e 1997) foram construídos para fins de manejo florestal e têm como objetivo prever colheitas de madeira em povoamentos em produção. Estes modelos baseiam-se em funções empíricas de crescimento diamétrico e proporcionam um nível de predição suficiente para o manejo.

Nestes modelos, a unidade de escala varia desde o povoamento total a árvores individuais e o objetivo se estende desta produção de tabelas de povoamento até a descrição de processos ecológicos.

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

Modelos do tipo povoamento total fornecem estimativas do crescimento e, ou, da produção para o povoamento como um todo (ou para algumas porções comerciais), sem identificar o tamanho das árvores como função de parâmetros do povoamento, tais como: idade, densidade, área basal e índice de sítio. Usualmente, esses modelos são construídos mediante o uso de técnicas de regressões múltiplas, como as desenvolvidas por CLUTTER (1963) e SULLIVAN e CLUTTER (1972).

Modelos do tipo árvores individuais, por outro lado, são mais pormenorizados, porque requerem particularidade de cada árvore no povoamento. O diâmetro é, frequentemente, a variável mais desejável, mas os modelos também incluem localização espacial de cada árvore

individual, sua altura e classe de copa. De acordo com ADLARD *et al.* (1988), SILVA (1989) cita, como exemplo de um modelo de árvore individual bem-sucedido, o JABOWA (*gap model*), que é um programa desenvolvido para simular a dinâmica de população de árvores em uma floresta heterogênea de folhosas, nos Estados Unidos, e que tem sido muito usado.

Segundo BOTKIN *et al.* (1972), esses tipos de modelos apresentam as seguintes características: cada árvore é definida por variáveis, como: idade máxima, diâmetro máximo, altura máxima, relações entre altura e diâmetro, taxa de fotossíntese, necessidade de luz, além de incluir relações entre crescimento relativo e uma medida de clima. Outras variáveis ambientais abióticas, como profundidade do solo, capacidade de armazenamento de água no solo, percentagem de rocha no solo, média mensal de temperatura e precipitação e insolação anual acima da copa da floresta podem ainda ser incluídas. As espécies são também diferenciadas por probabilidades de sobrevivência para a espécie e por adições de novas plantas, de acordo com o total de luz no piso da floresta.

MUNRO (1974), citado por DANIELS e BURKHART (1988), além disso, dividiu esses modelos em duas classes: modelos do tipo distância dependente e do tipo distância independente, caso a localização individual das árvores seja requerida ou não como atributo do modelo. Modelos de distância independente simulam crescimento de árvores individuais, como função do tamanho atual e dos parâmetros de povoamento. Registros pormenorizados de árvores são mantidos nesses modelos, promovendo uma grande quantidade de informações sobre a estrutura do povoamento. Exemplos de modelos de distância independente são encontrados em trabalhos de STAGE (1973) e ALDER (1979).

Nos modelos de distância dependente, a cada árvore é atribuída uma coordenada de localização. O crescimento individual da árvore é simulado em função do seu tamanho, da qualidade do sítio e de uma medida da competição em relação a seus vizinhos. O índice de competição varia de modelo para modelo, mas, em geral, é função do tamanho da árvore em relação ao tamanho e à distância dos competidores. A mortalidade pode ser calculada de modo probabilístico ou determinístico, como função da competição e de outros parâmetros individuais da árvore. Modelos desse tipo foram desenvolvidos por DANIELS e BURKHART (1988), VANCLAY (1989), entre outros.

Finalmente, os modelos de classes de tamanho são aqueles que consideram o povoamento em termos da distribuição do número de árvores por unidade de área e por classe de tamanho. Na maioria dos

casos, o tamanho é a classe de diâmetro. O método clássico de projeção de tabelas de povoamento, em que o número de árvore por classe de diâmetro é projetado através do tempo, pode ser classificado nessa categoria (AVERY e BURKHARD, 1983). Os modelos de povoamento mais comuns nesse grupo são aqueles em que a distribuição de diâmetro no povoamento é descrita por uma função densidade de probabilidade.

A partir dos modelos citados acima, pode-se prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, que visem à qualidade do produto final como desbaste, rotação econômica ótima e planejamento da colheita. Com a prognose da produção é possível também viabilizar a adoção de um plano de suprimento através da otimização da produção ou ainda da minimização de custos.

Os modelos de produção por classe diamétrica possibilitam maior detalhamento na predição e projeção da estrutura de um povoamento, facilitando o planejamento da produção florestal e a simulação de uma série de tratamentos silviculturais. Assim, permite otimizar o rendimento deste povoamento por meio de estimativas de múltiplos produtos por classe de tamanho. As funções de distribuição são processos que permitem predizer a probabilidade de ocorrência do número de árvores por classe de diâmetro e, conseqüentemente, analisar a estrutura dos povoamentos.

THIERSCH (1997) testou a eficiência das distribuições Normal, Log-Normal, Gamma, Beta, Weibull e SB de Johnson, por diferentes métodos de ajuste para *Eucalyptus camaldulensis* e, entre outras, concluiu que as estimativas da frequência teórica e volumétrica foram mais eficientes ao se utilizar as distribuições Beta e SB, ajustadas pelo método dos momentos e máxima verossimilhança, respectivamente. Entretanto, ABREU (2000) concluiu que a função de distribuição Weibull, ajustada pelo método dos momentos, se mostrou superior aos outros métodos.

Neste estudo procurou-se desenvolver um modelo biométrico baseado em distribuições diamétricas, assim como avaliar sua potencialidade para efetuar prognose precoce em plantios de *Tectona grandis* (teca), no Estado do Mato Grosso. Assim, os objetivos específicos foram: modelar os atributos da floresta: sítio, sobrevivência, variância dos diâmetros, área basal e média aritmética dos diâmetros e; ajustar a função probabilística, Weibull.

A teca (*Tectona grandis* L. f., família Verbenaceae) é uma espécie originária da Ásia, de vigoroso crescimento, produtora de madeira altamente resistente, utilizada na construção naval, móveis, assoalhos,

laminados, etc. Nos últimos anos tem alcançado excelentes preços no mercado nacional e internacional.

HYINK (1980), citado por BURK & NEWBERRY (1983), propôs um método alternativo para formular um sistema de projeção da produção baseado em um modelo de distribuição de diâmetros. Em vez de usar funções empíricas para prever os parâmetros da distribuição, estes parâmetros são recuperados das estimativas dos atributos do povoamento os quais podem ser expressos em termos da distribuição de diâmetros.

O método de recuperação de parâmetros tem outras vantagens sobre o método de predição dos parâmetros. Por exemplo, a sensibilidade dos parâmetros da distribuição a pequenas mudanças nos atributos do povoamento é mais evidente quando se usa a recuperação de parâmetros. Frazier (1981) realizou um profundo estudo do uso da distribuição de Weibull em um sistema de projeção da produção baseada na recuperação de parâmetros.

A distribuição Weibull apresentada como exemplo, foi ajustada pelo método dos momentos. O parâmetro "a" foi vinculado ao diâmetro mínimo o qual foi estimado através da média aritmética dos diâmetros, área basal, variância dos diâmetros, idade e altura média aritmética das árvores dominantes. O sistema de prognose do crescimento e da produção desenvolvido apresenta compatibilidade entre a área basal estimada para o povoamento e pela distribuição Weibull. Esta compatibilidade se dá através do recálculo dos parâmetros "b" e "c", até que a área basal obtida a partir da distribuição Weibull seja igual a área basal do povoamento estimada pelo modelo de área basal.

O crescimento e a produção de um povoamento florestal dependem da idade, da capacidade produtiva, do grau de utilização do potencial produtivo do lugar e de tratamentos silviculturais. Qualidade do local, ou capacidade produtiva do local pode ser definida como o potencial para produção de madeira (ou outro produto) de um determinado local, para uma determinada espécie ou clone. Essa qualidade pode ser expressa de modo empírico em alta, média e baixa, ou por meio de algum índice quantitativo, como o índice de local ou de sítio. Este índice é a altura dominante média do povoamento em uma idade específica (idade-índice), sendo, portanto, uma medida quantitativa da capacidade produtiva do local (CAMPOS e LEITE, 2002).

A produção de madeira pode ser o melhor indicador da produtividade de um sítio para objetivos de manejo florestal, entretanto, a produção volumétrica é de difícil medição, e é conveniente usar uma

alternativa mais fácil. Em povoamentos equiâneos de uma espécie a alternativa mais comum é índice de sítio, a altura esperada em uma dada idade-índice conforme BAUR (1877). Este índice é frequentemente usado como um substituto para a produção madeireira: a altura é medida em uma idade conhecida e convertida a uma classe de produção usando uma equação ou tabela (VANCLAY, 1994).

Os métodos de avaliação da capacidade produtiva podem ser definidos em três categorias: avaliação da qualidade do local pela vegetação indicadora; avaliação por fatores climáticos, edáficos, fisiográficos e bióticos; e avaliação através da relação altura dominante e idade, com a definição de índices de sítio (JONES, 1969).

A classificação por índices de sítio constitui um método prático e consistente de avaliação da qualidade do local, pois todos os fatores ambientais são refletidos de modo interativo no crescimento em altura, a qual também está relacionada com o volume. Some-se a isto a vantagem de a altura das árvores mais altas quase não ser afetada pela competição. Outra vantagem é a classificação ser feita por uma expressão numérica, em lugar de uma descrição qualitativa (CAMPOS e LEITE, 2002). Estas expressões são derivadas de relações funcionais envolvendo a variável dependente altura dominante média ( $h_{dom}$ ) e a variável independente idade. Vários tipos de modelos podem ser usados, sendo comuns aqueles que descrevem um comportamento aproximadamente exponencial ou sigmoidal. Cada curva obtida representa um índice de sítio, o qual corresponde a altura média das árvores dominantes em uma idade de referência. Esta idade é escolhida arbitrariamente, mas, em geral ela deve ser próxima da idade técnica de colheita.

As curvas de índice de sítio podem ser construídas utilizando-se dados de alturas dominantes e idades, obtidos a partir de parcelas temporárias, parcelas permanentes ou da análise completa do tronco. As árvores medidas para avaliação de qualidade do sítio devem ser livres de supressão (efeito de dominância) e danos; são aquelas árvores cuja copa se situa no dossel superior, recebendo luz direta. São árvores sadias, livres de doença, com copa e fuste bem definido, sem bifurcação e tortuosidade, com DAP e maiores alturas que os das árvores circunvizinhas (CAMPOS e LEITE, 2002).

A representação da capacidade produtiva por meio de índices de sítio pode ser feita por um feixe de curvas ou tabela, que são organizados a partir de uma equação de regressão. Dependendo do método de análise utilizado e da procedência dos dados, as curvas de índices de sítio geradas podem ser dos tipos anamórficas (harmônicas) ou polimórficas. As

anamórficas são aquelas em que a tendência do crescimento em altura é a mesma para todos os locais, isto é, a distância entre as curvas é a mesma. Por outro lado, curvas polimórficas não apresentam a mesma tendência de incremento em altura para todos os locais. Entre as alternativas para construção de curvas de índice de sítios citam-se: método da curva-guia; método da atribuição preliminar de índices de sítio; método da equação das diferenças; método de Hammer; e método da predição de parâmetros (CAMPOS e LEITE, 2002).

Mortalidade refere-se ao número de árvores que foram mensuradas inicialmente, que não foram cortadas, e morreram durante o período de crescimento. A mortalidade pode ser causada por diversos fatores como: idade ou senilidade; competição e supressão; doenças ou pragas; condições climáticas; fogos silvestres e por anelamento e envenenamento, injúrias, corte ou abate da árvore (SANQUETTA, 1996).

BURKHARD (1974) define a mortalidade regular, como sendo, a mortalidade causada por fatores endógenos ou ainda, por fatores intrínsecos à árvore. E diz que é esporádica no espaço e no tempo, e pode se manifestar a partir do plantio, com a morte das mudas menos vigorosas. LEE (1971) define a mortalidade irregular, como sendo causada por fatores exógenos também chamados fatores catastróficos, que são decorrentes de causas não intrínsecas à árvore como pragas, doenças, incêndios, danos mecânicos causados pelo homem e por animais, vento, temperatura, enchente, seca, além de outras causas sujeitas a acontecer irregularmente no tempo e no espaço.

Segundo CLUTTER *et al.* (1983), a mortalidade regular fundamenta-se principalmente na idade e densidade do povoamento, e deve possuir as seguintes propriedades, ao se considerar a idade ( $I_i$ ) e a densidade do povoamento ( $N_i$ ), expresso em número de árvores, no tempo  $i$ .

- a) Se  $I_2 = I_1$ , então  $N_2 = N_1$ ;
- b) Em povoamentos equiâneos, se  $I_2 > I_1$ , então  $N_2 < N_1$ ;
- c) Também em povoamentos equiâneos, se  $I_2$  tende a infinito, então  $N_2$  tende a zero;
- d) Se o modelo é usado para predizer  $N_2$  na idade  $I_2$ , e  $N_2$  e  $I_2$  para predizer  $N_3$  na idade  $I_3$ , o resultado deve ser igual aquele em que se usa  $N_1$  na idade  $I_1$ , para predizer  $N_3$  na idade  $I_3$ , ou seja, o modelo é invariante.

SANQUETTA (1990), após testar vários modelos, chegou à conclusão que o mais adequado em seu estudo de predizer a mortalidade de *Pinus*

*elliottii*, estava em função da densidade e da idade do povoamento. SCOLFORO (1998) apresenta uma lista de modelos de sobrevivência mais utilizados.

O estudo do comportamento da mortalidade das árvores deve estar presente na construção dos sistemas de predição do crescimento da espécie. Em geral, a mortalidade de indivíduos é avaliada mediante um processo de classificação ou dicotômica (isto é, considerando a resposta como zero ou um, vivo ou morto conforme os planos de inventário contínuos para fins específicos), originando dados de contagem nas unidades experimentais dos ensaios experimentais ou estudos observacionais da área florestal.

Embora muitos estudos a considerem nos modelos de produção, esta variável contribui para um melhor desempenho do sistema uma vez que é uma boa indicadora da uniformidade do povoamento. Esta variável tem a capacidade de expressar os tratamentos culturais realizados no povoamento, assim como outras fontes de variabilidade (SCOLFORO 1998).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo modelar os atributos de plantios de *Tectona grandis*, localizados na região de Cárceres no Estado do Mato Grosso: sítio, sobrevivência, variância dos diâmetros, área basal e média aritmética dos diâmetros e; ajustar a função probabilística de Weibull pelo método de momentos (recuperação de parâmetros) para prognose precoce da área basal e número de árvores por classe diamétrica.

## **MATERIAL E MÉTODO**

Foram empregados dados de diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total de um plantio de teca (*Tectona grandis*) localizado no Mato Grosso, no município de Cárceres cujas coordenadas centrais são 16°04'16"S 57°40'44"O. O plantio possui espaçamento de 3 x 3 metros. Os dados foram coletados aos dois, três e quatro anos de idade. A amostragem constou de 18 parcelas com dimensões de 15 x 60 metros (900 m<sup>2</sup>) com 100 árvores por parcela.

Foram ajustados modelos de sobrevivência, classificação de sítio e área basal, bem como, foi realizado o ajuste da distribuição diamétrica. Foi definida a idade de 7 anos para ter a projeção da produção.



## Classificação do Sítio

Para a classificação de sítio foi utilizado o modelo de Schumacher, que envolve as variáveis altura dominante e a idade.

$$\ln h_{dom} = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{A} \right)$$

onde:

$h_{dom}$  é a altura dominante (m);

$\beta_i$  os coeficientes do modelo e;

$A$  é a idade do povoamento (anos).

A equação resultante representa a curva do índice de sítio médio (curva-guia). A partir desta curva é obtida uma equação de índices de sítio. Assim, para esboçar uma curva específica de índice de local, localizam-se os pontos necessários por movimentação do eixo dos Y ( $h_{dom}$ ) para a Idade Índice (translação de eixos), por definição, quando o Y intercepta a Idade Índice ( $I_i$ ),  $h_{dom} = S$  (Índice de Sítio) e  $A = I_i$ .

Assim, rearranjou-se a equação para o cálculo das curvas limites que abrangesse a dispersão da altura dominante ( $h_{dom}$ ) para todas as idades, empregando a idade de referência de 4 anos.

$$\ln S = \ln h_{dom} + \beta_1 \left[ \left( \frac{1}{A} \right) - \left( \frac{1}{A_i} \right) \right]$$

Neste trabalho foram estabelecidas três classes de sítios com intervalos de dois metros na idade de referência.

## Modelo de sobrevivência

O modelo selecionado para prever a sobrevivência em função da idade do povoamento de teca foi:

$$N_2 = N_1 e^{\beta_2 (\beta_1^{A_2} - \beta_1^{A_1})}$$

onde:

$N_2$  é o número de árvores vivas por hectare na idade 2;

$N_1$  é o número de árvores vivas por hectare na idade 1;

$\beta_i$  são os coeficientes do modelo;

$A_2$  é a idade do povoamento na segunda ocasião (idade 2);

$A_1$  é a idade do povoamento na primeira ocasião (idade 1);

e é a base do logaritmo natural.

Este modelo foi o mais adequado para o estudo de SANQUETTA (1990) em povoamentos de *Pinus elliottii*.

### **Modelo de Área basal**

O modelo de área basal empregado foi:

$$\ln G_2 - \ln G_1 = \beta_0 X_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right) + \beta_2 (\ln N_2 - \ln N_1) + \beta_3 (\ln h_{dom} 2 - h_{dom} 1)$$

onde:

$G_2$  é a área basal do povoamento na idade 2;

$G_1$  é a área basal do povoamento na idade 1;

$\beta_i$  são os coeficientes do modelo;

$A_2$  é a idade do povoamento na segunda ocasião (idade 2);

$A_1$  é a idade do povoamento na primeira ocasião (idade 1);

e é a base do logaritmo natural.

### **Modelo para a variância dos diâmetros**

Devido à metodologia empregada, na qual se deseja obter a distribuição de diâmetros do povoamento de teca através de função probabilística utilizando-se o método de recuperação de parâmetros, é necessário um modelo para inferência da variância dos diâmetros, já que o parâmetro de forma da distribuição probabilística (c) tem relação direta com o coeficiente de variação do diâmetro do povoamento. Segundo SCOLFARO (1998), embora muitos não considerem esta variância nos modelos de produção, esta variável contribui para um melhor desempenho do sistema, já que é um indicador da uniformidade do povoamento.

$$s^2_{d_2} = \beta_1 s^2_{d_1} + \beta_2 d_{g_1} + \beta_3 \frac{N_1}{N_2}$$

onde:

$s^2_{d1}$  é a variância dos diâmetros na idade inicial  $A_1$ ;

$s^2_{d2}$  é a variância dos diâmetros na idade final  $A_2$ ;

$d_{g1}$  diâmetro quadrático na idade inicial  $A_1$ ;

$N_1$  número de árvores vivas na idade inicial  $A_1$ ;

$N_2$  número de árvores vivas na idade final  $A_2$ .

### **Distribuição de diâmetros**

Em florestas plantadas a distribuição de diâmetros é básica para que a predição ou prognose da produção possa ser implementada. Entre as distribuições matemáticas mais flexíveis está a função de densidade de probabilidade de Weibull a qual de acordo com os valores dos seus 2 ou 3 coeficientes pode assumir diferentes formas ajustando-se aos dados tanto de floresta nativa com distribuição decrescente como dados de floresta equiânea com distribuição unimodal e com diferentes graus de assimetrias para estimar a distribuição de diâmetros do povoamento de teca. A função Weibull é definida por:

$$f(x) = \left(\frac{c}{b}\right) \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} e^{-\left[\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]}$$

Para a obtenção dos coeficientes da distribuição de Weibull usou-se o método da recuperação dos parâmetros. O sistema de equações utilizado contempla a função Weibull com o parâmetro  $a$  sendo estimado independentemente, vinculado ao diâmetro mínimo. As estimativas dos parâmetros  $b$  e  $c$  da função de densidade probabilística de Weibull são dependentes do diâmetro médio quadrático ( $d_g$ ) e da média aritmética dos diâmetros. Estas variáveis são obtidas como:

$$d_g^2 = \frac{G}{0,0000785398163N}$$

No caso como a média aritmética ( $\bar{d}$ ) e o diâmetro médio quadrático ( $d_g$ ) são obtidos de forma independente a partir de equações ou estimativas, é feita a amarração do cálculo da média à variância para impedir que  $\bar{d}$  seja maior ou igual a  $d_g$ . A média aritmética dos diâmetros na idade projetada (7 anos) foi obtido da seguinte forma:

$$\bar{d} = \sqrt{\left(\frac{G}{0,0000785398163N}\right) - e^{(\ln s^2 d)}}$$

onde:

$\bar{d}$  é a média aritmética dos diâmetros na idade projetada (7 anos);

$G$  é a área basal projetada para a idade de 7 anos com o uso do modelo de área basal;

$N$  é o número de árvores vivas projetado para a idade de 7 anos estimado pelo modelo de sobrevivência;

$s^2_d$  é a variância dos diâmetros projetada para a idade de 7 anos pelo modelo de variância.

O coeficiente da variação do diâmetro é dado pela seguinte forma:

$$CV_{dap} = \frac{s_{d2}}{d_2} = \frac{\sqrt{\left(1 + \frac{2}{c}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{c}\right)}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}$$

O valor do parâmetro  $c$  da função de Weibull é obtido na equação anterior pela técnica da iteração, fazendo-se com que o valor de  $c$  varie até que o valor do termo da direita da equação seja igual ao valor do coeficiente de variação obtido da razão entre o diâmetro médio quadrático e a média aritmética dos diâmetros projetados para a idade de 7 anos.

Após a obtenção do valor de  $c$  por iteração, o valor do parâmetro  $b$  da função de Weibull é obtido da seguinte forma:

$$b = \frac{\bar{d}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{c}\right)}$$

O valor do parâmetro  $a$  da função de Weibull é obtido também por iteração, o valor é adequado quando a área basal obtida na função de Weibull for igual a área basal projetada para a idade de 7 anos, estimada pelo modelo de área basal.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Índice de sítio

Na Tabela 1, estão as soluções do modelo de Schumacher ajustado para o índice de sítio com os respectivos coeficientes de regressão e as medidas de precisão. Ao analisar os resultados dessa tabela, constata-se que o modelo apresentou ajustes satisfatórios.

A escolha por este modelo também foi indicada por Keogh (1990), que menciona que na classificação de sítios dos plantios de teca, por meio do método da curva guia, tem-se preferido os modelos de Schumacher linearizado e Schumacher "log-log", devido basicamente, à facilidade do procedimento operacional de ajuste.

Figueiredo (2005), em seu trabalho de modelagem de sítio para *Tectona grandis* para a microrregião do Baixo Rio Acre, concluiu que apesar do modelo de Schumacher & Hall apresentar desempenho um pouco inferior ao de Chapman & Richards, ele conseguiu manter a estabilidade total para as árvores dominantes das unidades amostrais, sendo, portanto, segundo este autor, a segunda melhor alternativa em seu trabalho.

Tabela 1- Coeficientes e principais estatísticas para o modelo de índice de sítio testado.

Coeficientes e Estatísticas	
R múltiplo	0,92811
R-Quadrado	0,86139
R-quadrado ajustado	0,85873
Erro padrão	0,13705
Erro padrão da estimativa recalculado	1,09734
Erro padrão da estimativa recalculado (%)	12,57
Índice de Schlaegel	0,86566
B <sub>0</sub>	3,23935
B <sub>1</sub>	-3,2258**
F	323,159**
Número de observações	54

Assim, a equação ajustada foi dada pela expressão abaixo.

$$\ln h_{dom} = 3,23935 - 3,2258 \left( \frac{1}{A} \right)$$

Considerando-se que o índice de sítio (S) é igual à altura dominante quando a idade (A) for igual à idade índice (A<sub>i</sub>) e que esta idade é de 4 anos então o valor do índice de sítio (S) na idade índice é 13,29 metros.

Rearranjou-se a equação para o cálculo das curvas-limite que abrangesse a dispersão da altura dominante (h<sub>dom</sub>) para todas as idades. Devido aos valores observados pertencerem a um povoamento jovem de teca, adotou-se o valor da idade de referência de 4 anos, substituindo-se tem-se  $\ln h_{dom} = \ln S - 3,22581 \left[ \left( \frac{1}{A} \right) - \left( \frac{1}{4} \right) \right]$ , assim com esta expressão foi construído as curvas de índices do local para o povoamento. Substituindo-se os valores de idade (A) de 1 a 10 anos obtiveram-se os valores de alturas dominantes para cada idade para este índice de sítio.

Como os valores observados para a altura dominante, aos quatro anos de idade, variaram de 8,8 a 13,5 metros, optou-se em fazer quatro curvas, ou seja: 8; 10; 12 e 14 metros (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de altura dominante para os quatro índices de sítio.

Idade (anos)	Altura dominante (m)			
	IS = 8 m	IS = 10 m	IS = 12 m	IS = 14 m
1	0,71	0,89	1,07	1,25
2	3,57	4,46	5,36	6,25
3	6,11	7,64	9,17	10,70
4	8,00	10,00	12,00	14,00
5	9,40	11,75	14,10	16,45
6	10,47	13,08	15,70	18,32
7	11,30	14,13	16,95	19,78
8	11,97	14,97	17,96	20,95
9	12,52	15,65	18,78	21,91
10	12,98	16,22	19,47	22,71

Na Figura 1, são mostradas as Classes Índices de Sítio, correspondendo a altura dominante central de cada classe na idade de referência.

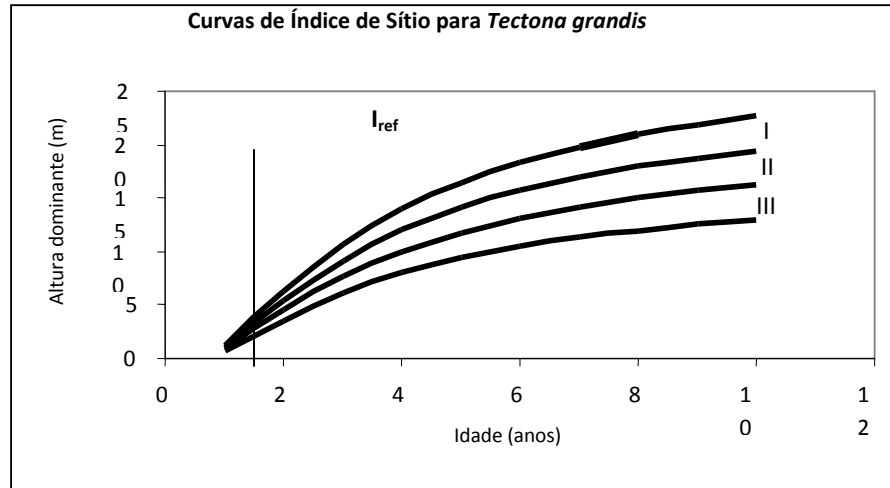


Figura 1 – Curvas de Índice de Sítio

### Modelo de sobrevivência

O modelo de sobrevivência não linear foi ajustado pelo método de Marquardt no programa JMP/SAS versão 5.1demo ([www.jmp.com](http://www.jmp.com)) e apresentou as seguintes estatísticas (Tabela 3). Maestri (2003) cita que muitos trabalhos evidenciam a influência da capacidade produtiva (sítio) na curva de sobrevivência em plantios. O mesmo autor afirma que as formulações matemáticas dos modelos para estimativa do número de árvores são normalmente dependentes da idade inicial, do intervalo de tempo e, em alguns casos, de alguma expressão de sítio.

O modelo apresentou um coeficiente de determinação de 45,57% e um erro padrão da estimativa de 35,64 árvores por hectares, considerados ruins no meio florestal. Entretanto, a aplicação do modelo, Tabela 3, indica comportamento coerente do mesmo.

Assim, o modelo dado pela equação abaixo, foi utilizado para prever o valor do número de árvores vivas por parcela para o povoamento de teca na idade de 7 anos (Tabela 4).

$$N_2 = N_1 e^{0,409542(0,06058^{A_2} - 0,06058^{A_1})}$$

Tabela 3 – Coeficientes e estatísticas para o modelo de sobrevivência.

Coeficientes e Estatísticas	
R-Quadrado	0,460804
R-quadrado ajustado	0,455717
Erro padrão	35,6487
Durbin-Watson	0,591125
$\beta_1$	0,060580
$\beta_2$	0,409542
Número de observações	108

Tabela 4 – Predição do número de árvores vivas por parcela aos sete anos.

Parcela	Número de árvores vivas /hectare			
	2 anos	3 anos	4 anos	Projeção aos 7 anos
1	988,79	988,79	988,79	987,22
2	1.044,34	1.044,34	1.044,34	1.042,68
3	1.022,12	1.022,12	1.022,12	1.020,50
4	1.044,34	1.044,34	1.044,34	1.053,78
5	977,68	977,68	977,68	953,94
6	1.066,56	1.066,56	1.066,56	1.064,87
7	1.111,00	1.111,00	1.111,00	1.109,24
8	1.088,78	1.088,78	1.088,78	1.098,15
9	1.088,78	1.088,78	1.077,67	1.075,96
10	1.077,67	1.077,67	1.055,45	1.053,78
11	1.055,45	1.055,45	1.055,45	1.053,78
12	1.099,89	1.077,67	1.033,23	1.031,59
13	1.055,45	1.055,45	1.044,34	1.042,68
14	1.111,00	1.111,00	1.111,00	1.109,24
15	1.099,89	1.088,78	1.088,78	1.087,05
16	1.099,89	1.088,78	1.077,67	1.075,96
17	1.022,12	999,90	999,90	998,31
18	944,35	944,35	944,35	942,85

### Modelo de área basal

O modelo de área basal foi ajustado fornecendo as seguintes estatísticas (Tabela 5). A equação apresentou coeficientes  $\beta_{is}$  significativos ao nível de 1% e F altamente significativo.

No trabalho de Cruz *et al.* (2008) constatou-se que para os menores valores de área basal houve uma tendência de subestimação do modelo ajustado e em locais com maiores valores de área basal, houve tendência de superestimação.



A equação ajustada abaixo, foi utilizada para projetar a área basal do povoamento de teca na idade de 7 anos, conforme dados da Tabela 6.

$$\ln G_2 - \ln G_1 = -8,750778 \left( \frac{1}{I_2} - \frac{1}{I_1} \right) - 4,317409 (\ln N_2 - \ln N_1) + 1,553524 (\ln h_{dom,2} - \ln h_{dom,1})$$

Tabela 5 – Coeficientes e principais estatísticas para o modelo de área basal.

Coeficientes e Estatísticas	
R múltiplo	0,980016
R-Quadrado	0,9604313
R-quadrado ajustado	0,9496745
Erro padrão	0,143446
$\beta_0$	0
$\beta_1$	-8,750778**
$\beta_2$	-4,317409**
$\beta_3$	1,553524**
F	631,0847**
Observações	108

Tabela 6 – Projeção da área basal para a idade sete anos.

Parcela	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)			
	2 anos	3 anos	4 anos	7 anos
1	1,988	6,654	11,104	22,019
2	2,707	8,790	13,794	27,353
3	2,539	8,497	13,815	27,394
4	3,078	8,425	13,918	27,600
5	3,412	8,757	14,517	28,786
6	2,637	6,877	11,451	22,707
7	3,041	8,324	14,178	28,116
8	3,002	7,667	13,360	26,493
9	2,434	7,704	13,430	26,632
10	2,400	8,077	12,943	25,666
11	3,387	8,671	13,549	26,867
12	1,802	6,383	11,683	23,166
13	3,301	9,035	13,477	26,725
14	3,324	8,566	13,364	26,501
15	2,813	7,396	11,465	22,734
16	1,942	6,110	10,378	20,580
17	3,211	9,779	14,680	29,109
18	1,219	4,931	8,581	17,015

## Modelo de variância de diâmetros

Conforme CORTE *et al.* (2004) muitos autores citam a função de Weibull de 2 ou de 3 parâmetros como sendo uma função bastante flexível, podendo ajustar-se tanto a dados de florestas nativas (decrecente) como a dados de florestas plantadas equiâneas com distribuição unimodal. Conforme esse autor, inúmeros trabalhos de modelagem da estrutura dos povoamentos florestais, utilizando essa função probabilística são encontrados na literatura florestal brasileira e mundial, entre eles Bailey e Dell (1973), Cao *et al.* (1982), Clutter *et al.* (1983), Finger (1979), Couto (1980), Burk e Newberry (1984), Glade (1986), Silva (1987), Scolforo (1990), Maestri (1992) e Maestri (1995). O modelo de variância dos diâmetros foi ajustado fornecendo as estatísticas que podem ser visualizadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Coeficientes e principais estatísticas para o modelo de variância dos diâmetros.

Coeficientes e Estatísticas	
R múltiplo	0,567721732
R-Quadrado	0,322307965
R-quadrado ajustado	0,276123963
Erro padrão	1,128480173
$\beta_0$	0
$\beta_1$	1,360543975**
$\beta_2$	-0,21923106*
$\beta_3$	2,665479911**
F	8,08514**
Observações	54

Com base nos critérios quanto à precisão e a consistência do modelo, nota-se que apresenta um bom ajuste.

Depois de ajustado o modelo, a equação abaixo foi empregado para projetar a variância do diâmetro para o povoamento aos 7 anos de idade, então calculado o coeficiente de variação do diâmetro e por iteração o valor do parâmetro de forma (c) e por cálculo o parâmetro escala (b) da função probabilística de Weibull conforme Tabela 8.

$$s^2_{d_2} = 1,360543975 \left( s^2_{d_1} \right) - 0,21923106 \left( d_{g_1} \right) + 2,665479911 \left( \frac{N_1}{N_2} \right)$$

Com base na área basal projetada para o povoamento aos 7 anos pelo modelo de área basal foi calculado por iteração o valor do parâmetro locação (a) da função de Weibull. Os valores obtidos para o parâmetro a foi zero em 17 das 18 parcelas analisadas, a parcela 1 apresentou um

valor negativo para este parâmetro (-0,0015). Conforme Burk e Newberry (1984) este problema pode ocorrer já que no processo iterativo não é possível restringir o valor de *a* para que seja positivo. Em certas condições de povoamentos, principalmente quando corre assimetria negativa, é possível que seja obtido valores menores que zero. Sob tais circunstâncias os autores recomendam que o valor de “*a*” seja substituído por zero. Com isso a função de Weibull de três parâmetros é convertida a função de dois parâmetros.

Os valores da distribuição diamétrica para o número de árvores e área basal projetadas para os 7 anos de idade pela função probabilística Weibull estão nas Tabelas 9 e 10.

Os resultados obtidos vem confirmar as afirmações de HYINK e MOSER (1983) que alegaram que o desenvolvimento de modelos compatíveis de produção e crescimento médio do povoamento, a partir de dados em que a distribuição de diâmetros pode ser caracterizada por uma função de densidade probabilística, é adequado um modelo teórico de recuperação de parâmetros da função escolhida. A técnica gerada sob este modelo pode representar uma primeira aproximação realística à estimação da estrutura do povoamento pelo uso de modelos existentes que estimam a produção média do povoamento.

Tabela 8 – Projeção da variância dos diâmetros aos sete anos, coeficiente de variação do diâmetro, parâmetro de forma (**c**) e o parâmetro escala (**b**) da função probabilística de Weibull.

Parcela	Variância do DAP aos 7 anos	CV	parâmetro <b>c</b>	parâmetro <b>b</b>
1	6,14	0,145228	8,150	18,104
2	3,82	0,104565	11,600	19,518
3	3,24	0,098954	12,290	18,976
4	2,53	0,086116	14,214	19,179
5	4,94	0,119992	10,030	19,461
6	9,96	0,184297	6,338	18,399
7	4,15	0,111816	10,800	19,092
8	7,55	0,159556	7,400	18,357
9	3,69	0,109922	11,000	18,289
10	6,31	0,145691	8,160	18,295
11	2,70	0,091521	13,400	18,650
12	4,43	0,126746	9,460	17,488
13	1,99	0,077994	15,770	18,722
14	4,91	0,124142	9,670	18,792
15	5,54	0,147341	8,060	16,964
16	3,54	0,122052	9,850	16,210
17	4,21	0,111249	10,860	19,323
18	2,79	0,114166	10,570	15,349

BINOTI et al. (2011) citam que a função Weibull desde sua introdução no setor florestal tem sido empregada por diversos autores para modelagem de distribuições de diâmetros (BAILEY e DELL, 1973; MAGNUSSEN, 1986; GOVE e PATIL, 1998; KANGAS e MALTAMO, 2000; CAO, 2004; NOGUEIRA et al., 2006; CAMPOS e LEITE, 2006; METATALO et al., 2006). Entretanto, no trabalho destes autores, para plantios de *Tectona grandis* desbastados, observaram que a função hiperbólica apresentou grande potencial para a descrição da distribuição diamétrica.

## **CONCLUSÃO**

Os modelos e a metodologia empregada produziram resultados consistentes com a realidade da estrutura da população referenciada. Assim as equações ajustadas podem ser utilizadas para a projeção dos atributos de povoamentos jovens de teca sob condições semelhantes às ora estudadas.

O uso do método de recuperação de parâmetros para ajuste da função Weibull possibilitou projeções muito próximas à realidade devido à compatibilidade com os parâmetros atuais do povoamento, comprovando a superioridade deste método de ajuste.

Os resultados aqui obtidos podem perfeitamente ser utilizados para projeção da produção em volume por classe diamétrica, bastando para isso à aplicação de uma equação volumétrica.

Tabela 9 – Projeção do número de árvores/ha por classe diamétrica, aos 7 anos de idade em cada parcela.

Classe DAP (cm)	PARCELA																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0	0,1
7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	1,9	0,0	0,9	0,0	0,5	0,0	0,2	0,0	0,1	1,0	0,4	0,0	0,4
8	1,2	0,0	0,0	0,0	0,2	3,8	0,1	2,2	0,2	1,3	0,0	0,8	0,0	0,3	2,6	1,3	0,1	1,3
9	2,9	0,2	0,1	0,0	0,5	7,1	0,4	4,6	0,5	3,0	0,1	2,1	0,0	0,9	6,0	3,6	0,3	4,1
10	6,0	0,5	0,5	0,1	1,3	12,4	1,1	9,1	1,6	6,3	0,3	5,0	0,1	2,3	12,5	9,1	0,9	11,3
11	11,8	1,3	1,4	0,5	3,1	20,3	2,7	16,5	4,1	12,4	1,1	11,1	0,3	5,1	24,0	20,9	2,3	27,5
12	21,7	3,4	3,8	1,5	6,8	31,4	6,3	28,2	9,7	22,7	3,2	22,9	1,2	10,8	43,0	43,8	5,5	60,5
13	37,2	7,8	9,3	4,4	14,0	46,1	13,7	45,5	21,2	39,1	8,6	43,6	4,0	21,4	71,6	83,6	12,0	118,0
14	59,8	17,0	21,3	11,7	26,7	64,0	27,8	69,0	43,3	63,1	21,2	76,8	11,8	39,4	109,8	142,6	24,5	195,3
15	89,2	34,3	44,9	28,5	48,1	84,0	52,6	98,1	81,3	95,0	48,2	123,1	31,9	67,9	152,6	208,7	46,7	251,8
16	121,8	64,6	87,0	63,9	80,5	103,2	91,9	129,3	137,9	131,5	99,6	174,5	78,5	107,7	186,8	244,3	82,7	216,9
17	148,7	110,9	150,6	128,3	123,8	117,6	145,2	155,2	203,3	163,8	179,8	208,7	168,0	154,0	193,4	203,6	133,3	96,2
18	156,9	168,2	220,6	218,0	169,9	122,4	199,2	166,1	243,3	177,9	261,9	195,6	283,9	191,0	159,7	100,9	189,1	14,5
19	136,1	212,2	248,1	278,5	199,2	114,5	222,4	153,4	211,2	161,2	264,3	128,5	305,9	194,1	97,0	22,6	222,7	0,4
20	91,0	201,6	181,5	214,4	186,6	94,0	182,1	117,4	111,3	114,7	140,4	50,5	135,5	148,2	38,9	1,5	198,5	0,0
21	42,9	123,2	65,7	66,5	126,4	66,0	93,4	70,6	27,1	59,1	24,4	9,5	10,5	75,2	8,9	0,0	116,4	0,0
22	12,8	37,9	7,6	4,1	53,7	38,3	23,8	31,3	2,0	19,9	0,6	0,6	0,0	21,3	1,0	0,0	36,3	0,0
23	2,1	4,1	0,1	0,0	11,7	17,7	2,1	9,4	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	4,4	0,0
24	0,2	0,1	0,0	0,0	1,0	6,2	0,0	1,7	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	942,9	987,2	1.042,7	1.020,5	1.053,8	953,9	1.064,9	1.109,2	1.098,1	1.076,0	1.053,8	1.053,8	1.031,6	1.042,7	1.109,2	1.087,1	1.076,0	998,3

Tabela 10 – Projeção da área basal (m<sup>2</sup>/ha) por classe diamétrica, aos 7 anos de idade em cada parcela.

Classe DAP (cm)	PARCELAS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
9	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	0,00	0,03
10	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,01	0,07	0,01	0,05	0,00	0,04	0,00	0,02	0,10	0,07	0,01	0,09
11	0,11	0,01	0,01	0,00	0,03	0,19	0,03	0,16	0,04	0,12	0,01	0,11	0,00	0,05	0,23	0,20	0,02	0,26
12	0,25	0,04	0,04	0,02	0,08	0,36	0,07	0,32	0,11	0,26	0,04	0,26	0,01	0,12	0,49	0,50	0,06	0,68
13	0,49	0,10	0,12	0,06	0,19	0,61	0,18	0,60	0,28	0,52	0,11	0,58	0,05	0,28	0,95	1,11	0,16	1,57
14	0,92	0,26	0,33	0,18	0,41	0,99	0,43	1,06	0,67	0,97	0,33	1,18	0,18	0,61	1,69	2,19	0,38	3,01
15	1,58	0,61	0,79	0,50	0,85	1,48	0,93	1,73	1,44	1,68	0,85	2,18	0,56	1,20	2,70	3,69	0,83	4,45
16	2,45	1,30	1,75	1,29	1,62	2,07	1,85	2,60	2,77	2,64	2,00	3,51	1,58	2,17	3,76	4,91	1,66	4,36
17	3,38	2,52	3,42	2,91	2,81	2,67	3,29	3,52	4,61	3,72	4,08	4,74	3,81	3,49	4,39	4,62	3,03	2,18
18	3,99	4,28	5,61	5,55	4,32	3,12	5,07	4,23	6,19	4,53	6,67	4,98	7,22	4,86	4,06	2,57	4,81	0,37
19	3,86	6,02	7,03	7,90	5,65	3,25	6,30	4,35	5,99	4,57	7,49	3,64	8,67	5,50	2,75	0,64	6,31	0,01
20	2,86	6,33	5,70	6,74	5,86	2,95	5,72	3,69	3,50	3,60	4,41	1,59	4,26	4,66	1,22	0,05	6,24	0,00
21	1,49	4,27	2,28	2,30	4,38	2,28	3,24	2,45	0,94	2,05	0,85	0,33	0,36	2,61	0,31	0,00	4,03	0,00
22	0,48	1,44	0,29	0,16	2,04	1,45	0,90	1,19	0,08	0,76	0,02	0,02	0,00	0,81	0,04	0,00	1,38	0,00
23	0,09	0,17	0,01	0,00	0,49	0,73	0,09	0,39	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,18	0,00
24	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,28	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	22,02	27,35	27,39	27,60	28,79	22,71	28,12	26,49	26,63	25,67	26,87	23,17	26,73	26,50	22,73	20,58	29,11	17,02

## REFERÊNCIAS

- ABREU, E.C.R. 2000. **Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis***. Lavras, 70 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras.
- AVERY, T. E.; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 3.ed. New York, McGraw-Hill, 1983. 331 p.
- ALDER, D. **Growth Modelling for Mixed Tropical Forests**. Department of Plant Sciences, University of Oxford, Tropical Forestry Paper 30. 1995, 231 p.
- ALDER, D. **SIRENA: Modelo de simulación para el manejo del bosque tropical em la Zona Norte de Costa Rica**. Manual del usuario y notas técnicas. 1997, 32p.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, B.; LEITE, H.G.; GUIMARÃES, D.P.; SILVA, M.L.M. da; GARCIA, S.L.R.; FARDIN, L.P. Eficiência das funções Weibull e hiperbólica para descrição de distribuições diamétricas de povoamentos de *Tectona grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.2, p.299-306, 2011.
- BOTKIN, D. B.; JANAK, J. F.; WALLIS, J. R. 1972. Some ecological consequences of a computer model of forest growth. **Journal of Ecology**, v. 60, p. 849-72.
- BURK, T.E.; NEWBERRY, J.D. 1984. A simple algorithm for moment-based recovery of Weibull distribution parameters. **Forest Science**, v. 30, p.329-332.
- CAMPOS, J.C.C., LEITE, H.G. **Mensuração florestal**. Viçosa: UFV. 2002, 407p.
- CLUTTER, J.L. 1963. Compatible growth and yield models for loblolly pine. **Forest Science**, 9:354-71.
- CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R.; BERNI, D.M. Modelos de simulação para classe diamétrica em *Populus* sp. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**. Curitiba, v.2, n.3, p. 33-40, 2004.
- CRUZ, J.P.; LEITE, H.G.; SOARES, C.P.B.; CAMPOS, J.C.C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, S.; OLIVEIRA, M.L.R. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.5, p.821-828, 2008.
- DANIELS, R.F.; BURKHART H.E. An integrated system of forest stand models. **Forest Ecology and Management**, v. 23, p.159-77. 1988.
- FIGUEIREDO, E. O. **Avaliação de métodos e modelos para a construção de curvas de índice de sítio para *Tectona grandis* L.f., na microrregião do Baixo Rio Acre, Acre**. 2005. Cap. 3, p. 126-165. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- HYINK, D.M.; MOSER JR., J.W. A generalized framework for projecting forest yield and stand structure using diameter distributions. **Forest Science**, v.29, p.85-95. 1983.
- KEOGH, K. M. Growth rates of teak (*Tectona grandis*) in the Caribbean/Central-American region. **Forest Ecology and Management**, v.35, n.3, p.311-314, 1990. (Short Communication).
- MACHADO, S.A.; OLIVEIRA, E.B.; CARPANEZZI, A.A.; BARTOSZECK, A.C.P.S. 1997. Classificação de sítio para bracatingais na região metropolitana de Curitiba. Colombo: Embrapa Florestas. p.21-37. (Embrapa Florestas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, 35).

- MAESTRI, R. **Modelo de Crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando Variáveis Ambientais**. 2003, 143 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – UFPR. Curitiba, 2003.
- SANQUETTA, C. R. 1990. **Predição da sobrevivência em reflorestamentos de *Pinus elliottii* Engelm.** Curitiba: 81p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná.
- SANQUETTA, C. R. 1996. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. Curitiba: FUPEF Série Didática n.8.
- SHEIL, D. A critique of permanent sample methods and analysis with examples from Budongo Forest Uganda. **For. Ecology and Management**, v. 77, p. 11-34. 1995.
- SCOLFORO, J.R.S. **Modelagem do crescimento e da produção florestal para florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE. 1998, 453p.
- SILVA, J.N.M. **The behaviour of the tropical rain forest of the brasilian amazon after logging**. Oxford. Tese de Doutorado. 1989, 303p.
- SULLIVAN, A. D.; Clutter, J. L. 1972. A simultaneous growth and yield model for loblolly pine. **Forest Science**. 18:76-86.
- STAGE, A. R. **Prognosis model for stand development**. St. Paul, Minn., USDA, Dep. Agric. For. Serv. 1973, 32 p.
- THIERSCH, A. 1997. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. Lavras, 155p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras.
- VANCLAY, J.K. A growth model for North Queensland rainforests. **Forest Ecology and Management**, v. 27, p. 245-271. 1989.
- VANCLAY, J.K. **Modelling forest growth and yield**. Wallingford: CABI. 1994, 312p.



Naturalia – eISSN:2177-0727 - ISSN: 0101-1944 - UNESP, Rio Claro, SP, Brasil  
Licenciada sob [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)