



Revista Árvore

ISSN: 0100-6762

r.arvore@ufv.br

Universidade Federal de Viçosa

Brasil

Garcia Leite, Helio; Saraiva Nogueira, Gilciano; Chagas Campos, João Carlos; Hissashi Takizawa, Fausto; Lopes Rodrigues, Flávio

Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste  
Revista Árvore, vol. 30, núm. 1, janeiro-fevereiro, 2006, pp. 89-98  
Universidade Federal de Viçosa  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48830111>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## UM MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA PARA POVOAMENTOS DE *Tectona grandis* SUBMETIDOS A DESBASTE<sup>1</sup>

Helio Garcia Leite<sup>2</sup>, Gilciano Saraiva Nogueira<sup>3</sup>, João Carlos Chagas Campos<sup>2</sup>, Fausto Hissashi Takizawa<sup>4</sup>  
e Flávio Lopes Rodrigues<sup>5</sup>

**RESUMO** – Os objetivos deste estudo foram desenvolver e avaliar quantitativamente um modelo de distribuição diamétrica para manejo de povoamentos desbastados de teca (*Tectona grandis* L. f.). A construção do modelo envolveu dados provenientes de uma rede de parcelas permanentes instaladas em povoamentos de teca, no Estado do Mato Grosso, de propriedade da empresa Floresteca Agroflorestal Ltda. Foram empregadas 239 parcelas permanentes, com área útil de 490,8 m<sup>2</sup>. O primeiro desbaste foi realizado aos 58 meses (idade média) e consistiu na redução sistemática de 36% do número de árvores, em média. A recuperação da distribuição diamétrica foi feita a partir de equações que compreendem relações lineares e não-lineares entre os parâmetros da função Weibull em uma idade futura ( $\beta_2$  e  $\gamma_2$ ) e os parâmetros em uma idade atual ( $\beta_1$  e  $\gamma_1$ ) e com características do povoamento em uma idade atual e futura. Foram avaliados três sistemas de equações. Para verificar a consistência dos sistemas, foram realizadas análises de compatibilidade de cada sistema e de identidade entre eles. O sistema selecionado garantiu a propriedade de que, quando a idade futura ( $I_2$ ) é igual à idade atual ( $I_1$ ), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. Pôde-se concluir que o modelo é compatível e indicado para manejo de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. Concluiu-se também que a predição dos parâmetros da função Weibull, em uma idade futura, em função dos parâmetros observados em uma idade atual, é lógica e gera estimativas consistentes e precisas.

**Palavras-chave:** *Tectona grandis*, distribuição diamétrica, desbaste e avaliação de modelo.

### **A DIAMETRIC DISTRIBUTION MODEL FOR THINNED STANDS OF *Tectona grandis***

**ABSTRACT** – The objective of this study was to develop and quantitatively evaluate a diametric distribution model for the management of thinned teak (*Tectona grandis* L. f.) stands. Model construction involved data from a net of permanent plots established in teak stands, in Mato Grosso State, Brazil, owned by Floresteca Agroflorestal Ltda. A total of 239 permanent plots with a mean area of approximately 490.8 m<sup>2</sup> were used. The first thinning was carried out at 58 months (mean value) and consisted in the systematically reduction in approximately 36% of the tree number. The recovery of the diametric distribution was taken from equations comprising linear and non-linear relations between the Weibull function parameters at a future age ( $\beta_2$  and  $\gamma_2$ ) and the parameters at a present age ( $\beta_1$  and  $\gamma_1$ ), and stand characteristics in a present and a future age. Three equations systems were analyzed. Compatibility analyses of each system and identity among them were performed to verify the consistence of the systems. The selected system guaranteed the property in which if the future age ( $I_2$ ) is equal to the present age ( $I_1$ ), the diametric distribution in the future age is equal to the diametric distribution in the present age. It was concluded that the model is compatible and recommended for thinned stands of *Tectona grandis*. It was also concluded that the prediction of the Weibull function parameters at a future age in function of the parameters observed at a present age is logical and generates consistent and accurate estimates.

**Keywords:** *Tectona grandis*, diametric distribution, thinning, and model evaluation.

<sup>1</sup> Recebido em 1º.06.2004 e aceito para publicação em 10.11.2005.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa (UFV). E-mail: <hgleite@ufv.br>.

<sup>3</sup> Professor do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), 39100-000, Diamantina-MG.

<sup>4</sup> Floresteca Agroflorestal Ltda.

<sup>5</sup> Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

## 1. INTRODUÇÃO

A madeira de teca (*Tectona grandis* L. f.) é considerada de alta qualidade, sendo destaque no mercado mundial, principalmente por causa das propriedades físico-mecânicas e das inúmeras possibilidades de uso. É utilizada em carpintaria, marcenaria, produção de móveis e construção naval (MATRICARDI, 1989; LAMPRECHT, 1990; OLIVEIRA, 2003). Existem povoamentos de teca em escala comercial implantados na Ásia, Oceania, África e América. Os povoamentos implantados com objetivos comerciais são manejados com a aplicação de desbaste, uma vez que as árvores de grande porte são mais rentáveis. De acordo com CTFT (1990), o preço dessa madeira pode variar de US\$ 180,00/m<sup>3</sup> a US\$ 3.500,00/m<sup>3</sup>, dependendo do porte da árvore e da coloração da madeira. Apesar do expressivo avanço nos estudos de modelagem do crescimento e da produção de povoamentos florestais, as estimativas de produção dos povoamentos de teca muitas vezes ainda têm sido obtidas de forma empírica. Portanto, é justificada a investigação científica envolvendo o desenvolvimento de modelos de crescimento e produção para povoamentos dessa espécie.

Dentre os modelos de crescimento e produção, os de distribuição diamétrica são mais indicados para predizer a produção de povoamentos manejados com desbaste. Segundo Burkhart et al. (1981), esses modelos são mais flexíveis para analisar a simulação de desbaste, além de possibilitarem a avaliação econômica de multiprodutos.

Alguns modelos de distribuição diamétrica já foram desenvolvidos para povoamentos de *Eucalyptus* e de *Pinus* submetidos a desbaste (CLUTTER e BENNETT, 1965; CAMPOS e TURNBULL, 1981; CAO et al., 1982; BAILEY e WARE, 1983; KNOEBEL et al., 1986; GUIMARÃES, 1994; SILVA, 2001). A maioria dos trabalhos envolvendo o uso de modelos de distribuição diamétrica foi desenvolvida com dados de povoamentos não-desbastados. Os objetivos deste estudo foram desenvolver e avaliar quantitativamente um modelo compatível de distribuição diamétrica para manejo de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste, utilizando-se dados de povoamentos submetidos a desbaste.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Informações sobre os dados

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de 239 parcelas permanentes retangulares de 490,8 m<sup>2</sup> de área, em média, instaladas em povoamentos de *Tectona grandis*, no Estado do Mato Grosso, de propriedade da empresa Floresteca Agroflorestal Ltda. Esses povoamentos foram implantados na região da depressão cuiabana, entre as coordenadas geográficas 15° 02' a 15° 11' de latitude S e 56° 29' a 56° 35' de longitude W, com espaçamento inicial de 3,0 x 2,0 m. A precipitação média anual da região é de 1.300 a 1.600 mm, com seis meses de período seco, e a temperatura média anual é de 25,3 °C.

As 239 parcelas foram instaladas em três projetos: A (94 parcelas), B (95 parcelas) e C (50 parcelas) e medidas, em média, aos 29, 35, 41, 45, 58, 70 e 81 meses. Em cada parcela foram medidos os diâmetros a 1,30 m de altura (dap) de todas as árvores, a altura total (Ht) de 15 a 20 árvores iniciais e a altura total de cinco árvores dominantes em cada parcela. Um primeiro desbaste foi realizado nos três projetos aos 58 meses (idade média) e consistiu na redução sistemática de 36% das árvores, em média. Esse tipo e essa intensidade de desbaste não foram definidos neste estudo.

Para estimar a altura total, ajustou-se, para cada projeto individualmente, o modelo  $Ht = \beta_0 + \beta_1 \text{dap} + \beta_2 S \ln I + \varepsilon$ , em que  $S$  é o índice de local, em m,  $I$  é a idade, em meses;  $\ln$  indica logaritmo neperiano;  $\beta_i$  são os parâmetros a serem estimados; e  $\varepsilon$  é o erro aleatório, sendo  $\varepsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ .

Volumes de árvores individuais foram obtidos a partir de equação obtida do ajuste do modelo proposto por Leite et al. (1995). Esse modelo foi ajustado individualmente por projeto, com 84, 87 e 71 árvores cubadas, respectivamente, nos projetos A, B e C.

Empregou-se o método da curva-guia para classificar a capacidade produtiva, utilizando a forma linearizada do modelo de Schumacher:  $\ln Hd = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} + \varepsilon$ , em que  $Hd$  é a média das alturas totais das árvores dominantes, em m;  $I$ ,  $\ln \beta_i$  e  $\varepsilon$ , conforme definido anteriormente.

## 2.2. Modelo de distribuição diamétrica

A função densidade de probabilidade utilizada foi a de Weibull, cuja forma acumulativa é:

$$F(x) = \int_a^{\infty} f(x)dx = 1 - e^{-\left(\frac{x-a}{\beta}\right)^{\gamma}}, \quad (\alpha \leq x < \infty)$$

em que:

$\alpha$  = parâmetro de locação (diâmetro mínimo remanescente);  $\beta$  = parâmetro de escala;  $\gamma$  = parâmetro de forma; e  $x$  = centro da classe de diâmetro, sendo  $x \geq 0$ ,  $\beta > 0$  e  $\gamma > 0$ . Essa função foi ajustada aos dados da distribuição diamétrica observada em cada parcela e em todas as medições, empregando-se o método da máxima verossimilhança. Para testar a aderência foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, em nível de 5% de probabilidade.

A redistribuição teórica dos diâmetros por classe, ou seja, recuperação da distribuição diamétrica, foi realizada por meio de regressões linear e não-linear. Foram considerados como variáveis dependentes os parâmetros da função Weibull em uma idade futura ( $\beta_2$  e  $\gamma_2$ ) e, como variáveis independentes, os parâmetros da função Weibull em uma idade atual ( $\beta_1$  e  $\gamma_1$ ) e as características do povoamento em uma idade atual e futura. As seguintes características do povoamento foram testadas: idade, diâmetro máximo, diâmetro mínimo, diâmetro médio, índice de local, número de árvores, altura dominante e combinações dessas variáveis. Para ajustar as equações foram utilizados os métodos dos Mínimos Quadrados Ordinários e Mínimos Quadrados Não-Lineares, empregando-se o procedimento iterativo Quasi-Newton.

Foram definidos três modelos, sendo estes ajustados aos dados, considerando-se todas as medições, ou seja, antes e depois do desbaste. Esses modelos foram avaliados considerando-se o coeficiente de determinação ajustado ( $\bar{R}_{yy}^2$ ), o coeficiente de correlação entre os valores estimados e observados ( $R_{yy}$ ), a análise gráfica dos resíduos e a análise de compatibilidade. O teste de compatibilidade consistiu em analisar se a distribuição diamétrica projetada do início para o final de um período de tempo era compatível com a distribuição diamétrica projetada ano a ano. Empregou-se o teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) para testar as seguintes hipóteses:

$H_0$  = distribuição diamétrica no final do período projetada de  $I_1$  para  $I_2$ ,  $I_2$  para  $I_3, \dots, I_{n-1}$  para  $I_n$  é igual

à distribuição diamétrica no final do período projetada de  $I_1$  para  $I_n$ ; e

$$H_a = \text{não } H_0,$$

em que  $I_1$  é a idade atual, em meses;  $I_2$  é a idade futura, em meses; e  $I_n$  é a idade no final do período, em meses.

A projeção da distribuição dos diâmetros foi feita a partir de uma distribuição em uma idade atual para uma idade futura, partindo-se de uma distribuição inicial observada. A tendência de crescimento do povoamento florestal antes do desbaste é diferente da tendência depois deste; assim, para projetar a distribuição diamétrica, considerou-se uma distribuição inicial observada antes do desbaste e outra após.

De posse do sistema de equações selecionado, aplicou-se o teste de identidade (LEITE e OLIVEIRA, 2002) para avaliar as hipóteses:

$H_0$  = A projeção da distribuição diamétrica obtida pelo sistema selecionado igual à projeção obtida pelos demais sistemas; e

$$H_a = \text{não } H_0.$$

Os testes de compatibilidade e de identidade entre os sistemas foram aplicados, considerando-se a média aritmética da distribuição verificada em cada medição. As projeções foram realizadas a partir da média da distribuição observada na primeira medição antes do desbaste (29 meses, em média) e depois deste (58 meses, em média). As projeções foram realizadas de ano a ano e, também, do início para o final de um período de tempo.

## 2.3. Avaliação das estimativas de volume

A estimativa da produção em volume, observada e estimada, total e por classe de diâmetro, em diferentes idades, foi obtida a partir da distribuição diamétrica observada, da distribuição diamétrica recuperada pelo sistema selecionado, das equações de altura total e das equações de múltiplos volumes estimadas para cada projeto. A estimativa foi realizada em todas as parcelas e em todas as medições. Para recuperar a distribuição, considerou-se a distribuição diamétrica inicial observada antes (29 meses) e depois do desbaste (58 meses).

Para verificar a tendenciosidade das estimativas da produção em volume, total e por classe de diâmetro, empregaram-se as estatísticas utilizadas por Murphy e Sternitzke (1979), sendo:

$$RQEM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i)^2}, \quad MD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - V_i) \quad \text{e} \quad MDP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{V_i - \hat{V}_i}{V_i} \right| \cdot 100$$

em que:

*RQEM* é a raiz quadrada do erro médio; *MD* é a média das diferenças; *MDP* é a média das diferenças porcentuais; *N* é o número de casos, ou seja, o número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetros indicadas; e  $\hat{V}_i$  e  $V_i$  são os volumes estimados e observados, respectivamente, até o diâmetro mínimo de 4 cm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Capacidade produtiva, altura total e volume por árvore

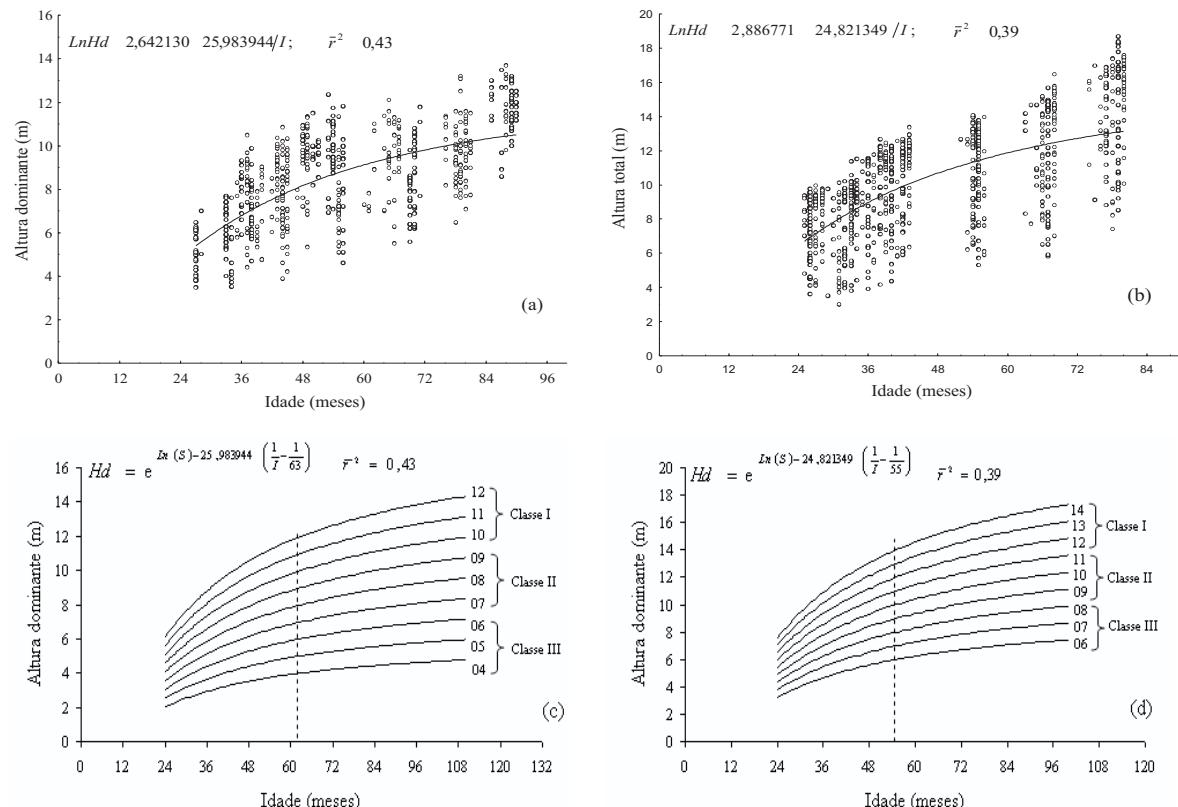
O comportamento da altura dominante ao longo do tempo apresentado pelo projeto A foi diferente do

comportamento apresentado pelos projetos B e C (Figura 1). Portanto, ajustou-se o modelo de Schumacher separadamente. As equações obtidas foram:

Projeto A:  $\ln H_d = 2,642130 - 25,983944 (I)^{-1}$ ,  $r^2 = 0,43$

Projetos B e C:  $\ln H_d = 2,886771 - 24,821349 (I)^{-1}$ ,  $r^2 = 0,39$

A aplicação do desbaste não alterou a tendência de crescimento da altura dominante (Figura 1ab). Os feixes de curvas de índice de local (Figura 1cd) foram construídos separadamente, para o projeto A e para os projetos B e C, adotando-se uma idade-índice próxima da idade em que os povoamentos foram desbastados. A idade-índice utilizada no projeto A foi de 63 meses e, nos projetos B e C, de 55 meses.



**Figura 1** – Altura dominante observada e estimada nos projetos A (a) e B e C (b) e curvas de índices de local para o projeto A (c), com idade-índice de 63 meses, e para os projetos B e C (d), com idade-índice de 55 meses.

**Figure 1** – Observed and estimated dominant height in the projects A (a) and B and C (b) and site index curves for the project A (c), with age-index of 63 months, and for the projects B and C (d), with age-index of 55 months.

As equações obtidas nos projetos A, B e C, com os respectivos coeficientes de determinação ajustados ( $\bar{R}^2$ ), foram:

Projeto A:  $Ht = -1,115475 + 0,530350 (dap) + 0,107166 (S)(LnI)$ ,  $\bar{R}^2 = 0,89$

Projeto B:  $Ht = -1,432054 + 0,503845 (dap) + 0,126206 (S)(LnI)$ ,  $\bar{R}^2 = 0,94$

Projeto C:  $Ht = -1,937653 + 0,599191 (dap) + 0,112745 (S)(LnI)$ ,  $\bar{R}^2 = 0,93$

Os valores dos coeficientes de determinação ajustados indicam um bom ajuste do modelo.

As equações de múltiplos volumes, com os respectivos coeficientes de correlação ( $R_{\hat{V}V}$ ), ajustadas aos dados de cubagem dos projetos A, B e C, foram:

Projeto A:

$$\hat{V} = 0,000075 (dap)^{0,6327623} (Ht)^{0,126895} e^{-4,50682 \left( \frac{Tx}{dap} \right)} \left[ 1 - \left( \frac{d}{dap} \right)^{1+0,321556(d)} \right],$$

$$R_{\hat{V}V} = 0,99$$

Projeto B:

$$\hat{V} = 0,000050 (dap)^{1,571381} (Ht)^{0,308170} e^{-4,73376 \left( \frac{Tx}{dap} \right)} \left[ 1 - \left( \frac{d}{dap} \right)^{1+1,625215(d)} \right]$$

$$R_{\hat{V}V} = 0,99$$

Projeto C:

$$\hat{V} = 0,000054 (dap)^{0,610328} (Ht)^{0,235636} e^{-4,42993 \left( \frac{Tx}{dap} \right)} \left[ 1 - \left( \frac{d}{dap} \right)^{1+1,825242(d)} \right]$$

$$R_{\hat{V}V} = 0,99$$

em que  $V$  = volume comercial com e sem casca por árvore, em  $m^3$ ;  $Tx$  = variável binária, sendo  $Tx = 0$  para volume com casca e  $Tx = 1$  para volume sem casca;  $d$  = diâmetro mínimo comercial, em cm; e as demais variáveis, conforme já definidas.

As equações de múltiplos volumes apresentaram estimativas consistentes e precisas, o que pode ser comprovado através dos valores do coeficiente de correlação ( $R_{\hat{V}V}$ ).

### 3.2. Redistribuição teórica dos diâmetros por classe

De acordo com os resultados do teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de probabilidade, a maior parte das distribuições diamétricas observadas segue

a distribuição Weibull. Os resultados estimados para três parcelas antes do desbaste e três parcelas após o desbaste, selecionadas ao acaso, são apresentados na Figura 2.

Os sistemas de equações ajustados foram:

a) **Sistema 1**

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(1,23849) \left( I_2^{0,211096} - I_1^{0,211096} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,976$$

$$Ln\gamma_2 = 0,314327 + 0,022588(dmin_2) + 0,752944(Ln\gamma_1), \bar{R}^2 = 0,882$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + 2,320055 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, R_{\hat{V}V} = 0,973$$

$$\beta_2 = -0,650595 + 0,321663(dmax_2) + 0,700952(\beta_1), \bar{R}^2 = 0,976$$

$$N_2 = N_1 e^{-(249,5740) \left( I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,990$$

b) **Sistema 2**

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(0,887776) \left( I_2^{0,249503} - I_1^{0,249503} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,970$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-(34,4547) \left( I_2^{-1,94803} - I_1^{-1,94803} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,928$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + 2,318574 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, R_{\hat{V}V} = 0,974$$

$$\beta_2 = \beta_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + 1,212049 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) dmax_2, R_{\hat{V}V} = 0,989$$

$$N_2 = N_1 e^{-(249,5740) \left( I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,990$$

c) **Sistema 3**

$$dmin_2 = dmin_1 e^{-(0,887776) \left( I_2^{0,249503} - I_1^{0,249503} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,970$$

$$\gamma_2 = \gamma_1 e^{-(34,4547) \left( I_2^{-1,94803} - I_1^{-1,94803} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,928$$

$$dmax_2 = dmax_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + 2,318574 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) \beta_1, R_{\hat{V}V} = 0,974$$

$$\beta_2 = -0,653434 + 0,315690(dmax_2) + 0,708764(\beta_1), \bar{R}^2 = 0,976$$

$$N_2 = N_1 e^{-(249,5740) \left( I_2^{0,000012} - I_1^{0,000012} \right)}, R_{\hat{V}V} = 0,990$$

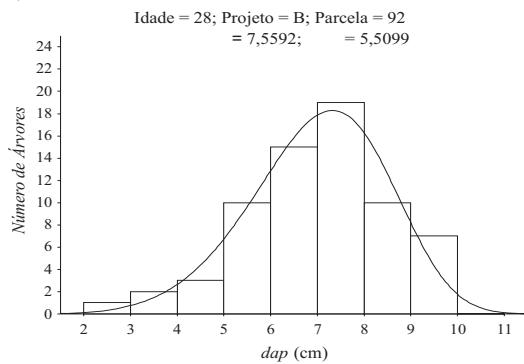
em que:

$I_2$  = idade futura, em meses;  $I_1$  = idade atual, em meses;  $\gamma_2$  e  $\gamma_1$  = parâmetros de forma da função Weibull em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;  $\beta_2$  e  $\beta_1$  = parâmetros de escala da função Weibull em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;  $dmax_2$  e  $dmax_1$  = diâmetro máximo,

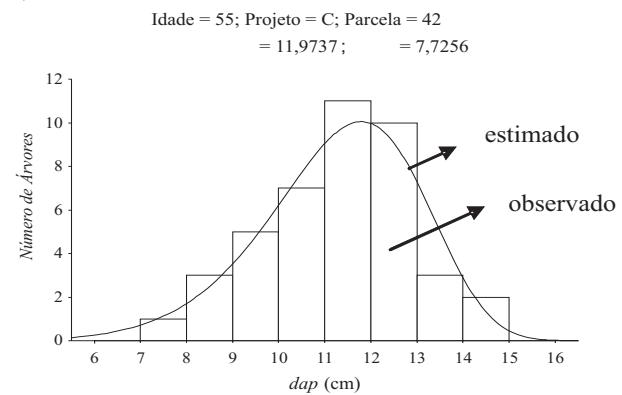
em cm, em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente;  $dmin_2$  e  $dmin_1$  = diâmetro mínimo, em cm, em uma idade futura e em uma idade atual,

respectivamente;  $N_2$  e  $N_1$  = número de árvores por ha em uma idade futura e em uma idade atual, respectivamente.

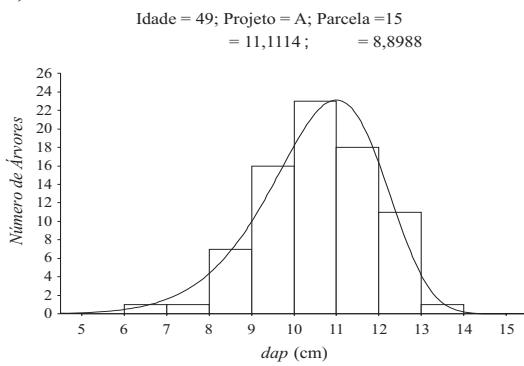
1)



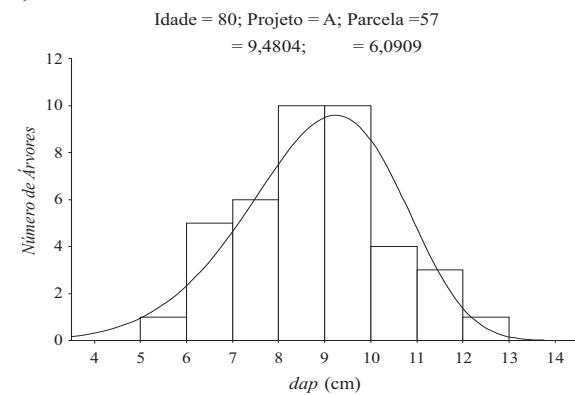
2)



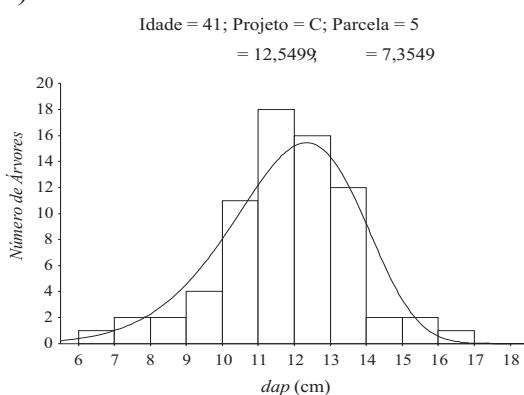
1)



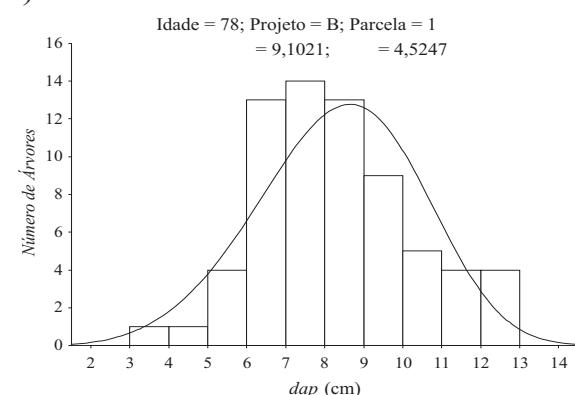
2)



1)



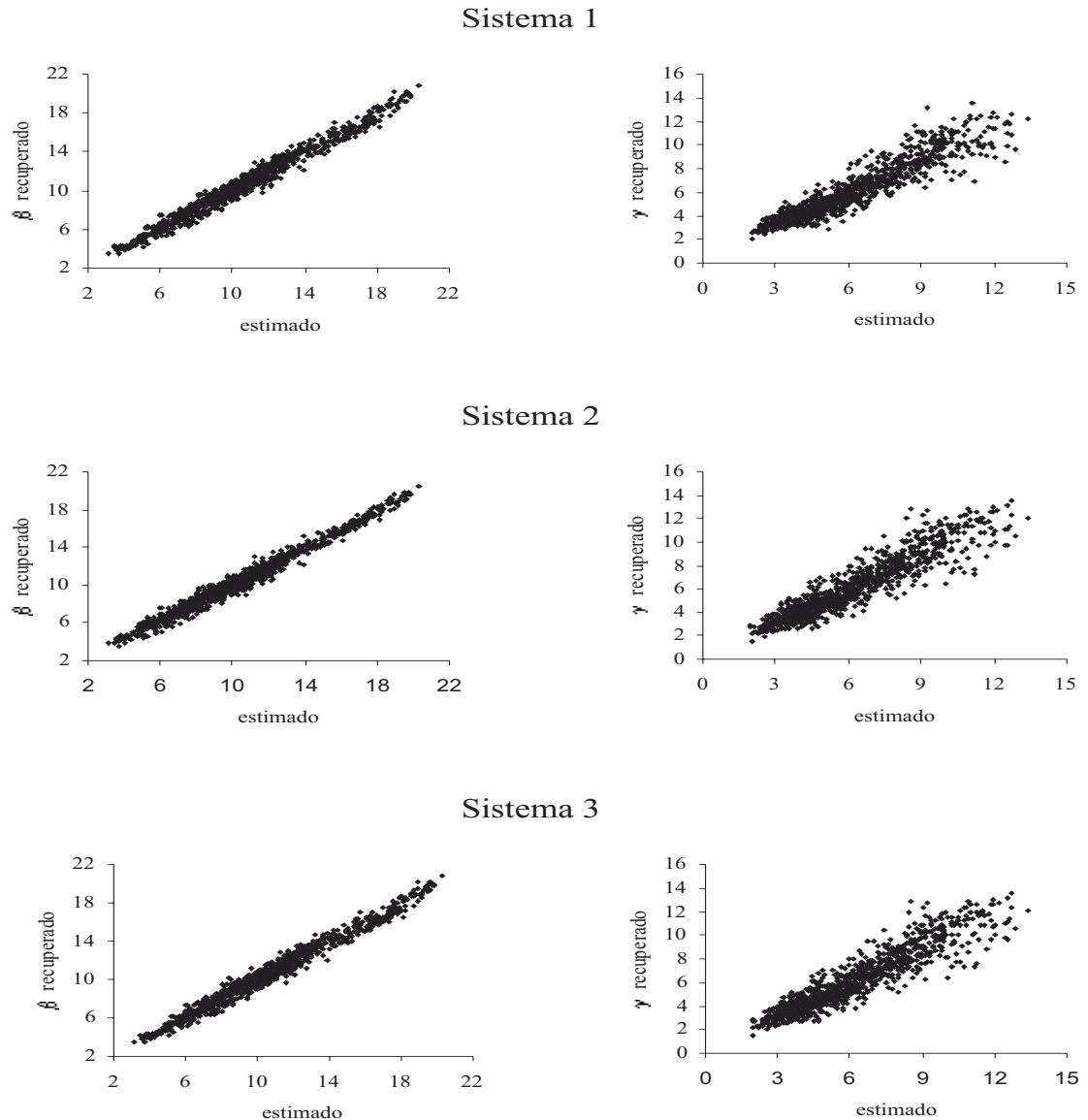
2)



**Figura 2** – Freqüência observada e estimada em seis parcelas, antes (1) e depois do desbaste (2).  
**Figure 2** – Observed and estimated frequency in six plots, before (1) and after thinning (2).

Antes do desbaste houve mortalidade natural das árvores; assim, ocorreu diminuição no número de árvore ao longo dos anos. A relação funcional utilizada para estimar a sobrevivência ( $N_2$ ) antes do desbaste também foi empregada para estimar o  $d_{min_2}$  no sistema 1 e o  $\gamma_2$  nos sistemas 2 e 3. Após o desbaste, assumiu-se que não houve mortalidade; assim:  $N_2 = N_1$ .

Não houve diferença significativa no grau de ajustamento entre os três sistemas (Figura 3). Todos os parâmetros das equações nos três sistemas foram significativos pelo teste t, e as estimativas de  $\bar{R}_{\beta}^2$  e  $R_{\gamma}^2$  indicam que a qualidade dos ajustes foi satisfatória em todas as equações, nos três sistemas avaliados.



**Figura 3** – Valores estimados e recuperados dos parâmetros  $\beta$  e  $\gamma$  da função Weibull nos sistemas 1, 2 e 3.  
**Figure 3** – Estimated and recovered values of the  $\beta$  and  $\gamma$  parameters of the Weibull function for the systems 1, 2 and 3.

### 3.3. Compatibilidade e identidade entre os sistemas

Apenas no sistema 2 a distribuição diamétrica no final do período, projetada de  $I_1$  para  $I_2$ ,  $I_2$  para  $I_3$ , ..., e de  $I_{n-1}$  para  $I_n$ , foi igual à distribuição diamétrica no final do período, projetada de  $I_1$  para  $I_n$  (Quadro 1). Cabe observar ainda que este possui um menor número de equações quando comparado com o sistema 1. Sobretudo, é o único sistema que garante a seguinte propriedade: quando a idade futura ( $I_2$ ) for igual à idade atual ( $I_1$ ), a distribuição diamétrica na idade futura é igual à distribuição diamétrica na idade atual. Desse modo, considerando  $I_2 = I_1$  nas equações do sistema 2, tem-se:  $dmax_2 = dmax_1$ ;  $\beta_2 = \beta_1$ ;  $\gamma_2 = \gamma_1$ ; e  $N_2 = N_1$ . Portanto, o sistema 2 foi selecionado para predição dos parâmetros da função Weibull em uma idade futura ( $\beta_2$  e  $\gamma_2$ ).

Os resultados do Quadro 2 permitem concluir que os modelos 1 e 3 (ou algumas de suas equações) podem ser empregados na predição dos parâmetros da função Weibull, estimados para povoamentos eqüíâneos desbastados. Na maioria das situações, a distribuição diamétrica projetada ano a ano pelo sistema 2 foi estatisticamente igual à distribuição diamétrica projetada pelos sistemas 1 e 3. Além disso, os sistemas 1 e 3 proporcionaram estimativas precisas e consistentes (consultar análise gráfica dos resíduos, Figura 3), e em todas as equações os valores dos coeficientes de correlação e de determinação foram altos.

### 3.4. Predição da produção em volume

O sistema de equações 2 gerou estimativas precisas da produção total, uma vez que os valores das estatísticas apresentados (Quadro 3) podem ser considerados aceitáveis. Após o desbaste, os valores de  $MD$  e  $MDP$  foram menores que antes. Em relação às estimativas por classe de diâmetro (Quadro 4), as estatísticas apresentadas também são consideradas aceitáveis quando comparadas com outros resultados encontrados na literatura. Observa-se, nesse quadro, que houve variação significativa dos valores das estatísticas entre as classes de diâmetro. No entanto,

**Quadro 1** – Resultado do teste Qui-quadrado ( $\chi^2$ ), aplicado para analisar a compatibilidade dos três sistemas

**Table 1** – Result of the Qui-square test ( $\chi^2$ ), applied to analyze the compatibility of the three systems

Sistema	Antes do 1º desbaste (29 para 45 meses)	Após o 1º desbaste (58 para 81 meses)
1	**	**
2	ns	ns
3	**	**

\*\* e ns denotam, respectivamente, significativo e não-significativo a 1% de probabilidade, pelo teste  $\chi^2$ .

pode-se inferir que o sistema de equações 2 proporcionou estimativas consistentes e precisas em todas as classes de diâmetro.

Os valores de  $RQEM$ , antes e depois do desbaste, aumentaram das menores para as maiores classes de diâmetro. Nas classes maiores, os valores foram estáveis ou diminuíram. De acordo com os valores de  $MD$ , antes do desbaste ocorreu subestimação das estimativas do volume nas classes de diâmetro intermediárias e superestimação nas classes extremas. Após o desbaste, houve alternância de subestimação e superestimação nas diferentes classes de diâmetros. Antes e depois do desbaste, maiores valores de  $MDP$  foram observados nas maiores classes de diâmetro e os menores, nas classes intermediárias. Após o desbaste, os valores de  $MDP$  foram, em média, menores que os valores antes do desbaste, indicando que depois deste o sistema de equações 2 proporcionou estimativas mais precisas.

Valores relativamente altos da estatística  $MDP$  nas classes de diâmetro superiores são o resultado do pequeno número de árvores observado nessas classes, em algumas parcelas. Por exemplo, considerando a classe de diâmetro de 16,5 cm com um volume comercial médio por árvore, aos 45 meses, de 0,2658 m<sup>3</sup>, sendo o número de árvores observadas nessa classe igual a 1 e o número de árvores estimadas pelo sistema de equações igual a 4, a diferença porcentual ( $DP$ ) será

$$\text{de: } DP = 100 \left( \frac{1,0632 - 0,2658}{0,2658} \right) = 300\%.$$

Conforme mencionado, as estatísticas indicaram que após o desbaste as estimativas da produção total e por classe de diâmetro foram mais consistentes e precisas. A explicação é que, com a eliminação das árvores indesejáveis, através do desbaste, a configuração da distribuição diamétrica remanescente oferece melhores condições para o ajuste da função Weibull.

**Quadro 2** – Identidade entre os sistemas 1, 2 e 3, pelo teste de Leite e Oliveira

**Table 2** – Identity between the systems 1, 2 and 3 for the Leite and Oliveira test

Idade de projeção (meses)	Sistema 2 vs. Sistema 3	Sistema 2 vs. Sistema 1
29* para 35	=	≠
35 para 41	=	=
41 para 45	=	=
58* para 70	=	=
70 para 81	=	≠
29* para 45	≠	≠
58* para 81	≠	≠

\* Valores observados.

**Quadro 3** – Estatísticas utilizadas para avaliar as diferenças entre produções totais observadas e estimadas pelo sistema de equações 2, antes e depois do desbaste**Table 3** – Statistics used to evaluate the differences between observed and estimated total productions by the system of equations 2, before and after thinning

Idade de Projeção (meses)	Antes do 1º Desbaste				Após o 1º Desbaste			
	29 <sup>1/</sup>				Idade de Projeção (meses)	58 <sup>1/</sup>		
	RQEM	MD	MDP	N <sup>2/</sup>		RQEM	MD	MDP
35	4,54	1,65	5,25	170	70	5,53	0,23	1,05
41	5,64	2,47	5,75	179	81	9,72	-0,38	-0,53
45	5,96	2,46	4,76	179				

<sup>1/</sup> Média das idades, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada; <sup>2/</sup> Número de parcelas.**Quadro 4** – Estatísticas utilizadas para avaliar as diferenças entre produções observadas e estimadas pelo sistema de equações 2 por classe de diâmetro antes e depois do desbaste**Table 4** – Statistics used to evaluate the differences between observed and estimated productions by the system of equations 2, per diameter class before and after thinning

Idade de Projeção (meses)	dap (cm)	Antes do 1º Desbaste					Após o 1º Desbaste				
		29 <sup>1/</sup>				Idade de Projeção (meses)	58 <sup>1/</sup>				
RQEM	MD	MDP	N <sup>2/</sup>	dap (cm)	RQEM	MD	MDP	N <sup>2/</sup>			
35	4,5	0,12	0,01	18,0	113	70	4,5	0,03	-0,01	-18,51	26
35	5,5	0,33	0,03	27,2	135	70	5,5	0,14	0,01	17,66	47
35	6,5	0,65	0,13	55,4	144	70	6,5	0,34	-0,05	6,77	81
35	7,5	1,30	-0,37	14,8	155	70	7,5	0,53	0,02	15,09	101
35	8,5	2,00	-0,58	11,2	134	70	8,5	0,98	-0,23	18,36	115
35	9,5	4,93	-2,85	-5,9	115	70	9,5	1,45	-0,12	20,45	135
35	10,5	3,78	0,76	37,3	104	70	10,5	1,76	-0,48	2,96	154
35	11,5	2,96	1,06	59,9	78	70	11,5	2,47	-0,80	7,35	150
35	12,5	3,04	1,11	63,4	42	70	12,5	2,96	-0,75	7,58	153
35	13,5	3,17	1,07	86,0	15	70	13,5	3,20	0,07	21,41	158
41	4,5	0,09	0,02	38,1	109	70	14,5	4,04	-0,48	15,96	146
41	5,5	0,32	0,07	36,9	126	70	15,5	4,90	1,00	35,92	125
41	6,5	0,61	0,07	38,3	139	70	16,5	5,96	-1,19	2,89	108
41	7,5	1,25	-0,31	22,2	156	70	17,5	6,00	-0,01	11,90	82
41	8,5	1,53	0,19	46,3	163	70	18,5	5,83	0,51	17,79	66
41	9,5	2,81	-1,02	5,7	151	70	19,5	7,73	-2,95	-5,53	47
41	10,5	4,43	-1,72	3,4	130	70	20,5	5,59	-3,67	-44,93	23
41	11,5	5,62	-2,41	-0,9	118	70	21,5	5,10	-3,73	-55,26	20
41	12,5	5,10	-1,13	11,3	106	81	5,5	0,11	0,01	13,25	40
41	13,5	4,79	3,03	113,1	75	81	6,5	0,37	0,00	28,05	55
41	14,5	4,57	2,31	112,9	46	81	7,5	0,75	0,11	40,22	76
45	4,5	0,08	0,01	23,1	103	81	8,5	1,07	0,11	32,73	104
45	5,5	0,25	0,05	23,7	120	81	9,5	1,31	0,16	33,35	111
45	6,5	0,53	0,13	45,5	134	81	10,5	2,38	-0,91	1,47	137
45	7,5	1,18	-0,21	34,1	151	81	11,5	3,19	-1,28	4,55	152
45	8,5	1,34	0,14	44,5	163	81	12,5	3,97	-1,99	-13,95	156
45	9,5	2,26	-0,65	8,6	162	81	13,5	3,54	-0,25	17,54	158
45	10,5	3,35	-0,80	10,0	147	81	14,5	4,59	-0,14	21,64	152
45	11,5	5,35	-2,60	-1,4	127	81	15,5	5,79	0,67	51,56	144
45	12,5	6,76	-2,60	5,0	119	81	16,5	6,56	-0,87	15,43	130
45	13,5	5,11	1,88	47,3	92	81	17,5	6,64	-0,50	10,41	111
45	14,5	4,66	1,69	49,9	66	81	18,5	8,64	-2,55	2,74	96
45	15,5	4,83	2,45	108,0	45	81	19,5	8,71	1,05	14,80	73
						81	20,5	10,68	1,23	36,85	57
						81	21,5	7,87	-1,25	6,51	42
						81	22,5	8,85	-5,38	-43,48	28
						81	23,5	6,60	-5,40	-63,59	19

<sup>1/</sup> Média das idades, em meses, da distribuição diamétrica inicial observada; <sup>2/</sup> Número de parcelas com volume observado nas classes de diâmetro indicadas.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, pode-se concluir que:

- O modelo de distribuição diamétrica proposto (sistema de equações 2) é compatível e indicado para manejo de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste.
- A predição dos parâmetros da função Weibull, em uma idade futura, deve ser feita em função dos parâmetros observados em uma idade atual.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, R. L.; WARE, K. D. Compatible basal-area growth and yield model for thinned and unthinned stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 13, n. 4, p. 563-571, 1983.
- CAMPOS, J. C. C.; TURNBULL, K. J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação do efeito de desbaste. **Revista Árvore**, v. 5, n.1, p. 1-16, 1981.
- CAO, Q. V.; BURKHART, H. E.; LEMIN JUNIOR, R. C. **Diameter distributions and yields of thinned loblolly pine plantations**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, School of Forestry and Wildlife Resources, 1982. 62 p. (Publ., FWS-1).
- CLUTTER, J. L.; BENNETT, F. A. **Diameter distributions in old-field slash pine plantations**. (Macon, GA): Georgia Forest Research Council, 1965. 9 p. (Report, 13).
- CTFT. Teak. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 224, p. 39-47, 1990.
- GUIMARÃES, D. P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 178 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- KNOEBELL, B. R.; BURKHART, H. E.; BECK, D. E. A growth and yield model for thinned stands of yellow-poplar. **Forest Science**, v. 32, n. 2, p.62, 1986.
- LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1990. 343 p.
- LEITE, H. G.; GUIMARÃES, D. P.; CAMPOS, J. C. C. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v. 19, n.1, p. 65-79, 1995.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. L. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, issue 7 e 8, 2002.
- MATRICARDI, W. A. T. **Efeitos dos fatores do solo sobre o desenvolvimento da teca (*Tectona grandis* L. F.) cultivada na Grande Cáceres - Mato Grosso**. 1989. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1989.
- MURPHY, P. A.; STERNITZKE, H. S. **Growth and yield estimation for loblolly pine in the West Gulf**. New Orleans: 1979. 8 p. (Research Paper, SO-154).
- OLIVEIRA, J. R. V. **Sistema para cálculo de balanço nutricional e recomendação de calagem e adubação de povoamentos de teca - Nutriteca**. 2003. 93 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- SILVA, A. A. L. **Emprego de modelos de crescimento e produção em análise econômica de decisões de manejo florestal**. 2001. 79 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.