

## Uma proposta para o preparo de bases de dados utilizadas nos ajustes de modelos de crescimento e produção florestal

Samuel de Pádua Chaves e Carvalho<sup>1\*</sup> Mariana Peres de Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, 78060-900, Cuiabá-MT, Brasil.

\* Author for correspondence: sam.padua@gmail.com

Received: 11 May 2015 / Accepted: 02 August 2015 / Published: 30 September 2015

### Resumo

Este trabalho teve como objetivo, propor um conjunto de etapas para o preparo de base de dados originados de parcelas permanentes tradicionalmente utilizadas nos ajustes de modelos de crescimento e produção florestal para as florestas homogêneas e equiâneas tipicamente plantadas no Brasil, e destinadas a um único uso nos processos industriais como as de celulose e papel, por exemplo. Para compor o ajuste foram selecionadas vinte e uma parcelas com quatro remedições cada. Destas vinte e uma, quatro, selecionadas aleatoriamente, tiveram a sua última medição retirada da base de ajuste para fins de validação da metodologia descrita neste estudo. Cinco etapas foram propostas: 1 – Taxa de Sobrevivência mínima; 2 – Índice de Uniformidade mínimo aceitável; 3 – Taxa crescente no incremento em altura média dominante e codominante; 4 – Taxa crescente no incremento em área basal; 5 - Remoção de outliers para a variável volume por meio do gráfico de caixas. Os resultados permitiram concluir sobre a robustez do método proposto com melhoria da precisão em 7% garantindo maior acurácia, além da melhoria na estabilidade de projeção da ordem de 21%. Portanto, ao optarmos pela metodologia descrita no estudo no preparo de ajustes de modelos de produção florestal, ela fornecerá ao gestor florestal a construção de cenários de planejamento mais realísticos.

**Palavras-chave:** Estabilidade; Acurácia; Biometria Florestal.

### Database approach to calibrate growth and yield models in forestry production systems

#### Abstract

This study aimed to propose a step by step to prepare a database from permanent plots traditionally used in the growth and yield models for forest plantations typically planted in Brazil and designed to industrial processes like as pulp and paper, for example. To compose the adjustment were selected twenty-one plots with four measurements each. These twenty-one, four, were randomly selected, had their last measurement taken setting the database for validation of methodology described in this study. Five steps were proposed: 1 - Minimum Survival Rate; 2 - Minimum Uniformity Index; 3 - Increasing rate in a dominant and co-dominant average height; 4 - Increasing rate in basal area; 5 - Outlier removal for variable volume through the boxplot. The results showed about the robustness of the proposed method with improved precision by 7% ensuring greater accuracy, in addition to improving the stability of the order projection of 21%. So when we choose the methodology described in the study, this will provide the forest manager to build more realistic context planning.

**Key words:** Stability; Accuracy; Forest Biometric.

#### Introdução

Com a limitação cada vez maior dos recursos florestais disponíveis, torna-se necessário o uso de métodos e

procedimentos mais eficientes no que diz respeito a gestão destes recursos (Sternadt 2001). Uma das maneiras de tornar mais eficiente o uso dos recursos florestais é fazer uso de espécies potenciais e a aplicação e escolha de modelos capazes de tornar as estimativas de produção bem próximas do real.

O uso de modelos para representação e explicação de uma realidade essencialmente mais complexa constitui estratégia de grande valia para o desenvolvimento da ciência, nos diferentes campos de conhecimento (Hasenauer 2000). Em sua maioria, as empresas florestais possuem como foco principal a quantificação do volume, sendo assim torna-se necessário buscar o desenvolvimento de modelos e métodos que visem à máxima redução dos erros envolvidos neste processo para tornar os planejamentos mais eficazes, além de permitirem a descrição de processos relacionados a dinâmica florestal, como por exemplo, os de crescimento.

De uma maneira geral pode-se dizer que há duas abordagens referentes aos estudos sobre a modelagem da dinâmica de florestas (Gomes e Varriale 2004). Os modelos descritivos fundamentados em regressões e modelos de correlação; e os modelos de caráter explanatório ou baseados em processos. Os modelos baseados em processos levam em consideração fatores que determinam a evolução de um sistema, ou seja, levam em consideração fatores relacionados ao meio que futuramente poderá intervir na produção de madeira, como por exemplo os processos ecofisiológicos, edafoclimáticos, temperatura, taxa fotossintética entre outros.

Um exemplo de modelo explanatório citado por Gomes e Varriale (2004) é o modelo TREEDYN 3. Este possui como características os fatores que influenciam a fotossíntese, a fenologia e os processos edáficos, envolvendo 14 variáveis diferentes. Porém, geralmente, a aplicação de modelos baseados em regressão são os mais comuns nos estudos de crescimento e produção florestal. Daniel et al. (1979) generaliza os fatores de crescimento em povoamentos puros sendo afetados pela idade, qualidade do sítio, espécie, densidade em termos de área basal e números de plantas por hectare, além das técnicas silviculturais.

Verificada a importância preditiva e de projeção dos modelos de produção o objetivo deste estudo foi elaborar um conjunto de etapas para o preparo de bases de dados usuais em ajustes de modelos de crescimento e produção florestal para povoamentos super-estocados visando maior precisão e estabilidade nas projeções.

#### Material e métodos

##### Base de dados

Uma breve descrição dos dados selecionados para exemplificar os procedimentos do trabalho é fornecida a seguir.

Tratam-se de parcelas permanentes provenientes de plantios homogêneos, equiâneos e monoclonais de *Eucalyptus* spp. As plantações encontravam-se em primeira

rotação e espaçamento 3,0 × 2,0 m. Ao todo foram mensuradas 21 parcelas em quatro sucessivas medições anuais. Informações complementares sobre os dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo dos dados utilizados no estudo.

Variável	Unidade	Mínimo	Médio	Máximo
DAP	cm	8,1	13,4	16,6
HT	m	11,5	22,1	28,4
HDOM	m	13,0	24,4	32,1
FUSTES	n.ha <sup>-1</sup>	1.225	1.567	1.875
G	m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup>	8,5086	23,7937	34,6498
VOL	m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	46,2342	248,8914	423,1128
IDA	anos	2,2	5,1	8,8

DAP = diâmetro à altura de 1,3 m do solo; HT = altura total; HDOM = altura média das árvores dominantes e codominantes; FUSTES = número de fustes por hectare; G = área basal do povoamento; VOL = volume total com casca do povoamento; IDA = idade da medição.

### Sistema de equações de predição e projeção da produção florestal

Para fins de ilustrar os procedimentos propostos neste estudo, optou-se pela adaptação do tradicional sistema de equações simultâneas de predição e projeção descrito por Clutter (1963) em que algumas variáveis foram inseridas como composição do modelo, a exemplo da equação 2, em que foi inserida a variável número de fustes por hectare.

#### Modelo para altura dominante

$$\ln(hd_{ij}) = \beta_0 + (\beta_1 I_{ij}^{-1})^{\beta_2} + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:  $\ln$  = logaritmo na base neperiana;  $hd_{ii}$  = altura média das árvores dominantes e codominantes da  $i$ -ésima parcela na  $j$ -ésima medição;  $I_{ij}^{-1}$  = idade da  $i$ -ésima parcela na  $j$ -ésima medição;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  são os parâmetros do modelo;  $\varepsilon_{ij}$  = erro de estimativa associado a  $i$ -ésima parcela na  $j$ -ésima medição.

#### Modelo para área basal

$$\ln G_{2i} = \ln G_{1i} \frac{I_{1i}}{I_{2i}} + \beta_1 \left(1 - \frac{I_{1i}}{I_{2i}}\right) + \beta_2 \left(1 - \frac{I_{1i}}{I_{2i}}\right) hd_{2i} + \beta_3 \left(1 - \frac{I_{1i}}{I_{2i}}\right) \ln N_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:  $G_{2i}$  = área basal da  $i$ -ésima parcela na idade de projeção;  $G_{1i}$  = área basal da  $i$ -ésima parcela na idade presente;  $I_{1i}$  = idade presente da  $i$ -ésima parcela;  $I_{2i}$  = idade de projeção da  $i$ -ésima parcela;  $hd_{2i}$  = altura média estimada das árvores dominantes e codominantes da  $i$ -ésima parcela na idade de projeção;  $N_{ij}$  = número de fustes vivos por hectare da  $i$ -ésima parcela na  $j$ -ésima medição;  $\varepsilon_i$  = termo aleatório associado a  $i$ -ésima parcela na  $j$ -ésima idade.

Considera-se variável o número de fustes por hectare nas sucessivas medições uma vez que impreterivelmente serão constantes ou decrescentes e nunca crescentes. Trata-se, portanto, de uma análise preliminar a ser descrita em uma das cinco etapas do estudo.

#### Modelo para volume

$$\ln V_{2i} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{I_{2i}} + \beta_2 \ln G_{2i} + \beta_3 \ln hd_{2i} + \varepsilon_i \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:  $V_{2i}$  = volume da  $i$ -ésima parcela na idade de projeção;  $\varepsilon_i$  = erro de projeção associado ao modelo da  $i$ -ésima parcela.

### Etapas para construção do banco de dados

As etapas descritas a seguir são uma proposta para gerar a base mais adequada para proceder com os ajustes dos

modelos sugeridos neste estudo. A finalidade é a obtenção de modelos mais precisos e projeções mais estáveis que permitirão ao manejador florestal gerar cenários de planejamento mais realísticos.

#### Etapa 1: Taxa de sobrevivência mínima

Considera-se um povoamento com alta taxa de sobrevivência aquele cuja mortalidade seja inferior a 5% do povoamento ao final da primeira medição do inventário florestal contínuo.

#### Etapa 2: Índice de uniformidade mínimo aceitável

Segundo a proposta de Hakamada et al. (2015) é possível gerar altas correlações do incremento médio anual da primeira medição do inventário florestal contínuo com a última medição desde que a uniformidade da floresta na primeira medição, que em geral ocorre no vigésimo quarto mês de vida do plantio, esteja acima do percentil 0,37. Para este estudo foi considerada a proposta dos referidos autores.

#### Etapa 3: Incremento em altura dominante

Seguindo os princípios lógicos de crescimento de qualquer organismo vivo, necessariamente os valores de altura dominante devem ser crescentes nas sucessivas medições. Porém, um valor máximo de taxa de crescimento é sugerido para o período de um ano, nunca superior a 100%, logo a altura dominante na medição 2 deverá ser no máximo o dobro do valor da medição 1 e nunca inferior a esta. Os valores das taxas de crescimento são obtidos pela fração da diferença do valor da variável ( $Y$ ) na medição 2 ( $Y_2$ ) subtraído o valor da variável na medição 1 ( $Y_1$ ) e o valor da idade na medição 2 ( $t_2$ ) subtraído o valor da idade na medição 1 ( $t_1$ ).

Os valores das taxas de crescimento ( $T_x$ ) foram obtidos de acordo com a equação 4.

$$T_x = \frac{Y_2 - Y_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{Eq. 4})$$

#### Etapa 4: Incremento em área basal

Raciocínios similares ao incremento em altura dominante foram considerados nos valores de incremento em área basal. O fundamento desta proposta está alicerçado à etapa 1, uma vez selecionados povoamentos com taxas de mortalidade inferiores a 5%. Ou ainda, nas sucessivas medições e remedições das parcelas permanentes, os valores de sobrevivência não deverão ser inferiores a 70%, fornecendo, portanto, um intervalo máximo aceitável para mortalidade das árvores com o tempo, independente da causa.

#### Etapa 5: Remoção de outliers para a variável volume por meio do gráfico de caixas

Após aplicadas as etapas anteriores foi realizada uma avaliação gráfica para a variável volume mesmo que de fato o volume em nível de povoamento seja uma consequência da interação altura, área basal e sobrevivência, uma vez que estas foram tratadas até este ponto nos passos anteriores. Portanto a última etapa trata-se de uma análise gráfica complementar para a variável volume total, gráfico de caixas e/ou *boxplot*, a fim de detectar pontos discrepantes sendo que os dados foram agrupados por classes de idades.

#### Análise da qualidade de ajuste e estabilidade das projeções

Para fins de avaliação da qualidade de estimativa dos modelos ajustados foram geradas as estatísticas de erro padrão residual, coeficiente de determinação, além do viés de predição. Detalhes sobre as formulações propostas podem ser obtidas em Faraway (2014).

Toda a estruturação dos dados e análise estatística foram efetuadas no software R, versão 3.1.3.

## Resultados e discussão

### Preparo dos dados

Cenário I: Número de registros iniciais - refere-se à quantidade total de informações contidas nos dados antes de iniciar os procedimentos descritos nas cinco etapas propostas. Total de 84 registros.

Cenário II: Número de registros finais - refere-se à quantidade de informações contidas nos dados após aplicados os procedimentos descritos nas cinco etapas anteriormente. Total de 61 registros.

A Figura 1 apresenta a tendência do crescimento em volume para ambos os cenários de ajustes. Ao interpretar a Figura 1 verifica-se que a maior concentração dos pontos removidos, ao aplicar as cinco etapas no preparo dos dados, estão em idades inferiores a 4 anos. Logo o reflexo de uniformidade do povoamento é consequência dos monitoramentos efetuados no início da rotação da floresta como enfatizado por Hakamada et al. (2015).

### Estatísticas dos ajustes

De acordo com os resultados da tabela 2 foi possível verificar a superioridade dos ajustes do Cenário II para as 3 equações onde os dados foram trabalhados de acordo com as cinco etapas propostas neste estudo. Por consequência é possível inferir que a metodologia é válida e se praticada permitirá ganhos da ordem de 7% de melhoria de precisão na projeção em volume para povoamentos super-estocados.

### Estabilidade das projeções

Para fins de validação da metodologia proposta a estabilidade de projeção foi analisada por meio da diferença gerada entre a projeção volumétrica da última medição das 4 parcelas selecionadas aleatoriamente. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 3.

Ao interpretar a Tabela 3 foi possível notar que em quase sua totalidade os valores projetados pelo cenário II se assemelham aos valores observados em campo, com diferenças inferiores a 3%, com exceção da parcela 3 em que o Cenário I foi superior. Com relação ao viés da estimativa, a média dos erros do cenário I foi de  $-0,3922 \text{ m}^3$  e do cenário II  $0,3095 \text{ m}^3$ , com redução em termos absolutos de aproximadamente 21%.

No contexto de ajustes de modelos não-lineares, Gonçalves (2014) também propôs algumas etapas para o preparo destes dados de crescimento e produção florestal com melhorias na precisão da ordem de até 15% para projeção em volume. A tratativa dos dados propostas no estudo refletiu em estimativas mais precisas nas projeções do volume de madeira, e, por consequência, maior estabilidade nas projeções.

Os resultados inerentes a esta pesquisa podem fornecer subsídios ao gestor florestal permitindo, por exemplo, decisões mais assertivas na quantificação de madeira e por consequência melhor gestão de todo um processo dependente desta importante variável dendrométrica.

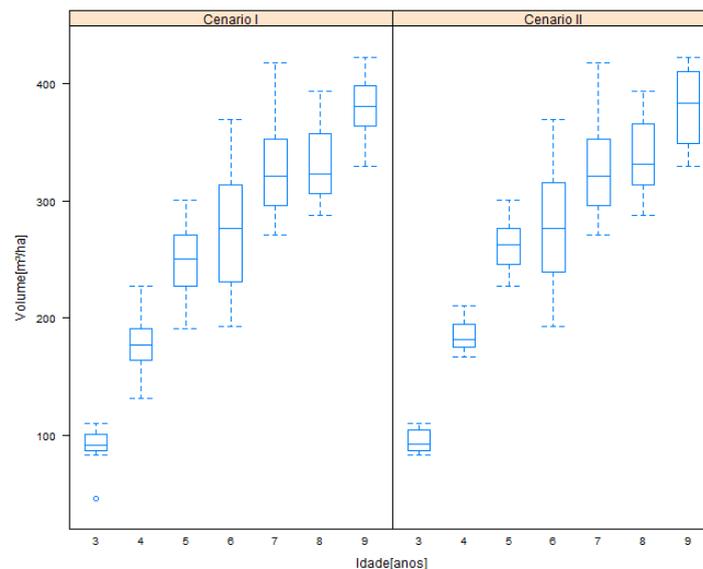


Figura 1: Tendência do crescimento em volume por classe de idade para os 2 diferentes cenários de ajustes.

Tabela 2. Análise comparativa da qualidade de ajuste para os diferentes cenários de ajustes.

Cenário	Modelo	Erro padrão residual	Coefficiente de determinação	Viés de predição
I	Eq. 1 [m]	0,8298	0,8829	0,1182
	Eq. 2 [ $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	1,2349	0,7715	0,1450
	Eq. 3 [ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	15,6427	0,9070	0,5201
II	Eq. 1 [m]	0,7447	0,9232	0,1040
	Eq. 2 [ $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	0,9666	0,8050	0,0326
	Eq. 3 [ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	14,5464	0,9109	0,4205

Tabela 3. Validação das projeções para os dois cenários de ajustes propostos no estudo.

Parcela	Vol_Obs [ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	Vol_Proj_CenI [ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	Diferença [%]	Vol_Proj_CenII [ $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	Diferença [%]
1	418,1416	402,3775	-3,77	408,1623	-2,39
2	327,9766	337,3608	2,86	334,6089	2,02
3	344,3368	341,7588	-0,75	338,1791	-1,79
4	326,4862	337,0130	3,22	334,7526	2,53

Vol\_Obs = volume observado; Vol\_Proj\_CenI = volume projetado pelo cenário I; Vol\_Proj\_CenII = volume projetado pelo cenário II.

**Referências**

- Clutter JL (1963) Compatible growth and yield models for loblolly pine. *Forest Science*, 9(3):354-371.
- Daniel TW, Helms JA, Baker FS (1979) *Principles of silviculture*. 2<sup>th</sup> Edition. New York: McGraw-Hill. 500p.
- Faraway J (2014) *Linear models with R*. 2<sup>th</sup> Edition. London: Chapman and Hall/CRC. 286p.
- Gomes AG, Varriale MC (2004) *Modelagem de ecossistemas: uma introdução*. 2<sup>th</sup> Edição. Santa Maria: UFSM. 503p.
- Gonçalves JC (2014) *Análise de risco aplicada à determinação da rotação econômica*. Dissertação, Universidade Federal de Lavras. 89p.
- Hakamada RE, Stape JL, Lemos CCZ, Almeida AEA, Silva LF (2015) Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto. *Scientia Forestalis*, 43(105):27-39.
- Hasenauer H (2000) Princípios para a modelagem de ecossistemas florestais. *Ciência & Ambiente*, 1(20):53-69.
- R Core Team (2015) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
- Sternadt GH (2001) *Cubagem de toras de mogno: comparação do processo do IBAMA e o adotado por madeireiras*. Brasília: IBAMA. 65p.