

MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA

**MENSURAÇÃO E MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA
PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS NÃO-DESBASTADOS DE
CLONES DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

O48m
2007

Oliveira, Marcio Lelis Romarco de, 1975-

Mensuração e modelagem do crescimento e da produção
de povoamentos não-desbastados de clones de eucalipto
/ Marcio Lelis Romarco de Oliveira. – Viçosa, MG, 2007.
xii, 103f. : il. ; 29cm.

Orientador: Helio Garcia Leite.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Eucalipto - Crescimento - Modelos matemáticos.
2. Eucalipto - Populações. 4. Clonagem. 5. Levantamentos
florestais. 6. Florestas - Medição. I. Universidade Federal
de Viçosa. II. Título.

CDO adapt. CDD 634.9563

MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA

**MENSURAÇÃO E MODELAGEM DO CRESCIMENTO E DA
PRODUÇÃO DE POVOAMENTOS NÃO-DESBASTADOS DE
CLONES DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 4 de setembro de 2007.



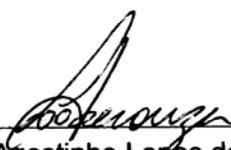
Prof. Carlos Pedro Boechat Soares
(Co-orientador)



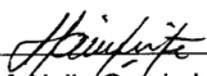
Prof. João Carlos Chagas Campos
(Co-orientador)



Prof. Gilciano Saraiva Nogueira



Prof. Agostinho Lopes de Souza



Prof. Helio Garcia Leite
(Orientador)

DEDICO

A Deus, pela dádiva da vida.

Ao meu pai, Cícero, à minha mãe,

Catarina, e ao meu, irmão Marcelo.

*À minha esposa, Miranda, e à
minha filha, Alice.*

“A melhor maneira de ser feliz é contribuir para a felicidade dos outros”.

Baden Powell

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela oportunidade e pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, pelo apoio.

À CAF-ARCELOR BRASIL, na pessoa do engenheiro Lecio José Diniz Campos, por dedicar parte de seu escasso tempo para o atendimento a dúvidas e por disponibilizar dados para este estudo.

Ao professor Helio Garcia Leite, pela paciência, dedicação e orientação segura e equilibrada, além da amizade que demonstrou durante a convivência deste e de outros trabalhos.

Aos professores João Carlos Chagas Campos, Carlos Pedro Boechat Soares, Gilciano Saraiva Nogueira e Agostinho Lopes de Souza, pela amizade, pelo estímulo e pelas importantes sugestões para este trabalho.

À professora Silvana Lages Garcia, pela amizade, pelo apoio, pelas sugestões e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos autores que contribuíram, direta ou indiretamente, para a elaboração deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, em especial aos secretários da pós-graduação Ritinha e Alfredo, ao porteiro Chiquinho e aos funcionários da biblioteca setorial José Mauro e Francisco.

Aos amigos do curso de pós-graduação Flávio (*in memoriam*), Andréa, Pablo, Jovane, Joze Mauro, Eric, Rodrigo, Fabiano, Christian, Ricardo, Aline, Paulo Oliveira, Danilo, João Ricardo e Deuclides, pelo apoio, entusiasmo e incentivo.

Ao Grupo Escoteiro Viçosa, pelos valiosos ensinamentos e pelos bons momentos vividos.

Aos meus pais, Cícero Romarco de Oliveira e Catarina Leles Romarco de Oliveira, e ao meu irmão Marcelo Leles Romarco de Oliveira e sua noiva Evanize Kelli Siviero, pelo apoio e estímulo durante a minha vida.

À toda minha família, que sempre contribuiu muito para minha formação pessoal e familiar.

A minha gratidão à minha esposa Miranda e à minha filha Alice. Fico satisfeito em saber que só com elas eu consigo realizar todos os meus sonhos e objetivos.

Às demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA, filho de Cícero Romarco de Oliveira e de Catarina Leles Romarco de Oliveira, nasceu em Nilópolis, Rio de Janeiro, em 24 de fevereiro de 1975, e mudou-se para Viçosa, Minas Gerais, em 1981.

Concluiu o curso primário na Escola Estadual “Ministro Edmundo Lins”, o ginásial na Escola Estadual “Dr. Raimundo Alves Torres” e o científico no Colégio Universitário, todos em Viçosa, Minas Gerais.

Em 1996, ingressou-se no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em 31 de março de 2001.

Em abril de 2001, ingressou-se no Programa de Mestrado em Ciência Florestal, pela Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em 31 de março de 2003.

Em agosto de 2003, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em 4 de setembro de 2007.

Em fevereiro de 2007, ingressou-se como professor do curso de Engenharia Florestal do campus universitário de Gurupi, pertencente à Universidade Federal do Tocantins.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Justificativa do trabalho	4
1.3. Hipóteses	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	7
CAPÍTULO 1	9
ESTIMAÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES EM POVOAMENTOS NÃO-DESBASTADOS DE CLONES DE EUCALIPTO	9
1. INTRODUÇÃO	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1. Descrição dos dados	12
2.2. Equações de volume	14
2.3. Procedimento proposto	14
2.4. Verificação do método da similaridade de perfis	16
2.5. Validação do método da similaridade de perfis	16
	Página
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1. Análise do método da similaridade de perfis	18

3.2. Verificação do método da similaridade de perfis.....	22
3.3. Validação do método da similaridade de perfis.....	24
4. CONCLUSÕES.....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
 CAPÍTULO 2.....	 29
CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE POVOAMENTOS NÃO-DESBASTADOS DE CLONES DE EUCALIPTO.....	
1. INTRODUÇÃO.....	29
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
2.1. Descrição dos dados	32
2.2. Modelagem e análises para clones com mais de três medições.....	34
2.3. Estimativa do índice de local para clones com menos de três medições.....	37
2.4. Importância do agrupamento de clones para fins de estimativa de crescimento e produção.....	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1. Análises do procedimento proposto para clones com mais de três medições	40
3.2. Procedimento proposto para clones com menos de três medições	47
3.3. Estratificação para fins de estimar de crescimento e produção.....	48
4. CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
 CAPÍTULO 3.....	 59
MODELAGEM E PROGNOSE EM POVOAMENTOS NÃO- DESBASTADOS DE CLONES DE EUCALIPTO.....	59
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1. Descrição dos dados	62
2.2. Modelagem do crescimento e da população.....	63
2.3. Modelagem volumétrica e análises para clones com mais de três medições	64
2.4. Modelagem volumétrica e análises para clones com menos	68

Página

de três medições.....	
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
3.1. Estratificação para fins de modelagem do crescimento e da produção	69
3.2. Modelagem volumétrica e análises para clones com mais de três medições	72
3.3. Modelagem volumétrica e análises para clones com menos de três medições.....	89
4. CONCLUSÕES.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99
CONCLUSÕES GERAIS	102

RESUMO

OLIVEIRA, Marcio Leles Romarco de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2007. **Mensuração e modelagem do crescimento e da produção de povoamentos não-desbastados de clones de eucalipto**. Orientador: Helio Garcia Leite. Co-orientadores: João Carlos Chagas Campos e Carlos Pedro Boechat Soares.

O objetivo deste estudo foi desenvolver procedimentos para quantificar o volume de árvores e para estratificar as florestas, visando a classificação da capacidade produtiva e a modelagem do crescimento e da produção de plantios clonais de eucalipto não-desbastados. Para quantificar o volume de árvores foram utilizados dados de 2.036 árvores de clones comerciais de eucalipto pertencentes à empresa CAF Santa Bárbara, tendo sido ajustadas equações de volume para cada estrato (clone e região). Para cada árvore foi ajustado um modelo de *taper*. Posteriormente, foram realizados abates de três árvores de clones novos, que não possuíam equação de volume específica, sendo uma árvore “pequena”, uma “média” e uma “grande” em termos de *dap* e altura total. Com as três árvores cubadas foi ajustado o modelo de *taper*. De posse das estimativas dos parâmetros foi calculada uma medida de similaridade com os parâmetros dos modelos ajustados para as 2.036 árvores dos clones comerciais. A árvore do clone comercial que apresentou o menor valor de distância euclidiana, quando comparada com o clone novo, foi considerada a mais similar, portanto a equação de volume desse clone comercial foi usada para estimar o volume de árvores do novo clone. Este procedimento foi denominado método da similaridade de perfis. Para estratificação da floresta para fins de capacidade produtiva e modelagem do crescimento e da produção, foram utilizados dados de uma empresa do Estado da Bahia. O procedimento foi agrupar

clones com características semelhantes em termos de crescimento em: volume, área basal, altura dominante e diâmetro médio, utilizando o método de agrupamento de Tocher, com a finalidade de obter estimativas de índice de local por grupos de clones. O procedimento mostrou-se eficiente e evidenciou a necessidade de estratificar florestas de eucalipto para estudos de capacidade produtiva. O estudo do crescimento e da produção mostrou que o modelo $V_2 = V_1 + \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_2} \right)^{-1} - \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_1} \right)^{-1}$ ajustado por estrato de modelagem foi mais eficiente do que o modelo de Clutter, para fins de prognose de estoques volumétricos. Foi possível concluir que estimativas de crescimento e produção para clones que possuam menos de três medições podem ser realizadas por meio de modelos específicos por estrato ou de um modelo geral, porém esta decisão deve ser avaliada pelo modelador e pelo usuário. Para estudos de modelagem do crescimento e da produção é necessário grande interação entre modelador e usuário, para que se tenham estimativas volumétricas precisas e livres de tendência.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Marcio Leles Romarco de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2007. **Growth and yield mensuration and modeling of non-thinned stands of eucalyptus clones.** Adviser: Helio Garcia Leite. Co-advisers: João Carlos Chagas Campos and Carlos Pedro Boechat Soares.

The objective of this study was to develop procedures to quantify the volume of trees and stratify forests aiming to classify the productive capacity and growth and yield modeling of clonal plantings of non-thinned eucalyptus. To quantify tree volume data from 2.036 trees from commercial eucalyptus clones were used, owned by CAF Santa Bárbara Company, with volume equations being adjusted for each stratum (clone and region). For each tree, a taper model was adjusted. Three trees from new clones without specific volume equation were then felled, classified as “small”, “medium” and “large” in terms of *dap* and total height. The taper model was adjusted to the three cubed trees. Based on the parameter estimates, a measurement of similarity with the parameters of the adjusted models was calculated for the 2.036 commercial clone trees. The commercial clone tree presenting the lowest Euclidian distance value when compared with the new clone was considered the most similar, thus the volume equation of this clone was used to estimate the tree volume of the new clone. This procedure was denominated profile similarity method. For forest stratification for purposes of productive capacity

and growth and yield modeling, data from a company in the state of Bahia were used. The procedure consisted of grouping clones with similar traits in terms of growth in volume, basal area, dominant height, and mean diameter, applying the Tocher grouping method to obtain site index estimates per groups of clones. The procedure was found to be efficient, evidencing the need to stratify eucalyptus forests for yielding capacity studies. The growth and yield study showed that the model $V_2 = V_1 + \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_2}\right)^{-1} - \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_1}\right)^{-1}$ adjusted by modeling stratum was more efficient than the Clutter model, for purposes of volumetric stocking prognosis. It could be concluded that growth and yield estimates for clones with less than three measurements can be carried out by means of specific models by stratum or applying a general model. However, this decision must be evaluated by the modeling agent and by the user. For growth and yield modeling studies, a great interaction between modeling agent and user is necessary to obtain precise and bias-free volumetric estimates.

1. INTRODUÇÃO

As florestas naturais do Brasil foram exploradas, na maioria das vezes, de forma predatória, principalmente em regiões com crescimento industrial acelerado, como a Região Sudeste e, atualmente, a Região Norte.

Com o passar dos anos, as florestas plantadas começaram a desempenhar papel importante, como uma fonte alternativa de recursos florestais, destinados a suprir as necessidades de madeiras e os seus derivados (DE LIMA, 1996). Além disso, essas florestas passaram a ser uma forma de manter intocadas as florestas nativas ou exploradas com racionalidade. É possível inferir que o reflorestamento é uma das alternativas para não realizar a exploração de florestas naturais, mantendo o atendimento sempre crescente da demanda por produtos de madeira e derivados.

Entre as florestas plantadas, os povoamentos de eucalipto recebem destaque por ser o gênero *Eucalyptus* o mais implantado e estudado no Brasil. Nele são encontradas algumas espécies destinadas para diferentes finalidades, como fonte de energia para o setor siderúrgico ou como matéria-prima para celulose e papel, dentre outros.

Atualmente o setor florestal está se desenvolvendo de forma rápida, com avanços tecnológicos, além de ser um grande gerador de recursos para o País, tendo uma participação significativa no PIB nacional. As empresas florestais estão cada vez mais buscando técnicas que melhorem a

produtividade a um menor custo, sem, contudo, perder a qualidade de seus produtos, para que estes sejam competitivos nos mercados interno e externo. Com este cenário o manejo florestal passou a ter papel fundamental para gerir os recursos de uma empresa. Entre as decisões que cabe ao manejador florestal destacam-se: quando, onde, quanto e como colher os produtos florestais. Para responder essas questões, segundo Davis e Johnson (1987), é imprescindível que as empresas tenham estimativas de produções atuais e futuras para o devido planejamento das atividades florestais, sendo este um dos três elementos essenciais do manejo florestal.

Existem algumas maneiras de estimar a produção de povoamentos florestais, desde inventários florestais simples a modernos modelos de crescimento e produção. A maioria das empresas emprega a técnica dos inventários florestais contínuos (IFC), que permitem estimar a produção atual dos povoamentos e fazer projeções para períodos curtos (CAMPOS e PAULA NETO, 1988). De posse de dados de IFC é possível expressar a condição média do povoamento (LEITE, 1990).

Modelo pode ser interpretado como o veículo para uma visão bem estruturada da realidade, ou seja, é uma visão substitutiva da realidade (GOLDBERG e LUNA, 2000). Para Titus e Morton (1985), modelos de crescimento e produção para a Ciência Florestal podem ser utilizados para predição, fornecendo subsídios para atualização de inventários florestais passados, estabelecimento de prescrições, elaboração de planos de manejo e estudos de regulação florestal, dentre outros.

O modelo de crescimento e produção mais utilizado pelas empresas brasileiras até 2006 foi o de Clutter (CAMPOS e LEITE, 2006). Os modelos de crescimento e produção como este são classificados como modelos em nível de povoamento. Esse modelo permite a projeção da produção por unidade de área, não podendo fazer nenhuma inferência para classe diamétrica ou para árvore individualmente (CLUTTER *et al.*, 1983).

No Brasil, os trabalhos com modelos de crescimento e produção tiveram maior destaque a partir da década de 1980. Trévizol Júnior (1985) ajustou o modelo de Clutter para *Eucalyptus grandis* localizados em Bom Despacho, Minas Gerais, utilizando dados de parcelas permanentes. Em 1990, Leite (1990), utilizando dados de parcelas permanentes de *Eucalyptus*

saligna, da empresa Suzano de papel e celulose, ajustou um modelo de distribuição diamétrica; com este modelo foi possível fazer inferências do povoamento em nível de classe diamétrica. Estes modelos têm grande aplicação para povoamentos desbastados. Além desses dois trabalhos, outros tiveram grande importância no setor florestal, para estudar a modelagem do crescimento e da produção. A seguir são citados alguns: Campos (1997), Souza (1988), Pece De Rios (1993), Rosas (1994), Guimarães (1994), Soares (1999) e Nogueira (2005), dentre outros.

1.1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma metodologia que pudesse solucionar o problema da classificação da capacidade produtiva e da modelagem do crescimento e produção para plantios de clones de eucalipto.

Os objetivos específicos foram:

- Estudar o comportamento das principais variáveis em nível de povoamento em diferentes plantios clonais, dentre elas a área basal, a altura dominante, o diâmetro médio e o volume.

- Analisar o comportamento das curvas de crescimento de diferentes plantios clonais.

- Desenvolver procedimentos específicos (metodologia) para quantificação do volume em nível de árvore e por unidade de área em plantios clonais de eucalipto.

- Desenvolver procedimentos específicos (metodologia) para classificação da capacidade produtiva de povoamentos de clones de eucalipto.

- Desenvolver procedimentos específicos (metodologia) para modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de clones de eucalipto.

1.2. Justificativa do trabalho

A partir da década de 1980, principalmente no final, as empresas florestais brasileiras passaram a intensificar seus plantios com clones de

eucalipto, substituindo em parte, ou totalmente, plantios de sementes, com o propósito de alcançar maior produtividade e qualidade do produto. Algumas empresas têm atualmente mais de 95% de sua área efetiva com plantios clonais. Em decorrência disto, surgiu uma questão interessante e intrigante, de como seriam feitas as previsões do crescimento e da produção desses clones em escalas comerciais, já que muitas vezes não existem dados históricos sobre clones específicos, ou seja, não existem dados de parcelas permanentes e nem mesmo equações volumétricas específicas para clones atualmente existentes em escala comercial.

Como em qualquer atividade florestal, o planejamento necessita de informações precisas sobre a produtividade volumétrica e sobre o potencial produtivo de clones. Há ocasiões em que a empresa implanta um clone novo e já necessita da sua informação volumétrica ao longo do tempo. Como a maioria das empresas possui um grande número de clones, é comum agrupar clones com tendências de crescimento semelhantes, quando em modelagem de povoamentos. Isto é possível quando já se tem número de medições suficientes de parcelas permanentes, mas ocorrem situações em que há somente uma ou duas medições, ou até mesmo nenhuma medição de clones em escala comercial. Muitas vezes a primeira medição das parcelas permanentes ocorre quando o povoamento está com 2 a 3,5 anos, sendo poucos os casos em que a primeira medição de parcela permanente ocorre em idades entre 1,0 e 2,0 anos. Há ocasiões em que um clone é plantado, e antes da colheita sua exclusão para plantios novos já é determinada. Porém, uma vez implantado, torna-se necessário calcular o volume de cada árvore desse clone, além da classificação da sua capacidade produtiva e posterior previsão do crescimento e produção para fins de prognose (predição, projeção ou qualquer outro procedimento para estimar o estoque de crescimento por unidade de manejo) e da regulação da floresta.

Em alguns casos, dados oriundos de testes clonais e de testes clonais ampliados são utilizados para gerar curvas provisórias de produção para novos clones. Nesses casos, além da limitação dos dados (parcelas pequenas e baixa representatividade), os volumes por árvore têm sido gerados por meio de uma única equação genérica, ou pelo uso de fator de

forma, o que implica baixa precisão e riscos na modelagem. Também é possível inferir que o comportamento de um clone em um teste clonal pode ser muito diferente do comportamento em escala comercial. Algumas tentativas já foram consideradas, no sentido de resolver o problema do volume por árvore (LEITE e ANDRADE, 2004). Entretanto, muitas vezes as soluções não têm sido práticas exeqüíveis.

Por outro lado, com o passar dos anos muitas empresas acumularam grande quantidade de dados de árvores e de parcelas permanentes. Nesses bancos de dados existe um potencial conhecimento acumulado que pode ser usado para fazer previsões seguras, com um esforço mínimo. Resta definir como extrair esse conhecimento. Na verdade, há uma grande possibilidade de descobrir conhecimentos em base de dados de cubagem de árvores e de parcelas permanentes.

Outra questão que deve ser estudada é a classificação da capacidade produtiva para clones que têm um número maior do que três medições de parcelas permanentes, ou para clones com duas, uma ou nenhuma medição. Mesmo existindo parcelas permanentes com número de medições suficientes, ainda persistirão dúvidas sobre como classificar a capacidade produtiva quando forem muitos os clones, e com diferentes tendências de crescimento em altura, conforme exemplos encontrados em Campos e Leite (2006).

Historicamente as empresas necessitam ter informações mais consistentes para predição dos povoamentos de clones de eucalipto, além de metodologias eficientes e precisas para alcançar um planejamento eficaz.

1.3. Hipóteses

Diante das justificativas do estudo, foram formuladas as seguintes hipóteses:

H_{01} : procedimentos usuais de quantificação do volume por árvore podem ser usados em plantios clonais;

H_{a1} : não H_{01} ;

H_{02} : procedimentos usuais de inventário florestal podem ser usados em inventários de plantios clonais;

H_{a2} : não H_{02} ;

H_{03} : os plantios clonais oriundos da espécie eucalipto não diferem dos plantios de semente quanto a classificação da capacidade produtiva e da modelagem do crescimento e da produção; e

H_{a3} : não H_{03} .

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J.C.C. Aplicação de um modelo compatível de crescimento e produção de densidade variável em plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.2, n.10, p.121-134, 1986.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 470 p.

CAMPOS, J.C.C.; PAULA NETO, F. Experiências em inventário e mensuração florestal. In: I Simpósio de Pesquisa na UFV. Viçosa-MG, p. 80-81, 1988.

CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management** – a quantitative approach. New York: John Wiley e Sons, 1983. 333 p.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K. N. **Forest management**. 3. ed. New York: McGraw-Hill Book, 1987. 790 p.

DE LIMA, D.G. **Desenvolvimento e aplicação de um modelo de suporte à decisão sobre multiprodutos de povoamentos de eucalipto**. 1996. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

GOLDBERG, M.C.; LUNA, H.P.L. **Otimização combinatória e programação linear**: Modelos e algoritmos. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000. 649 p.

GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

LEITE, H.G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith**. 1990. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Uso do método da altura relativa em inventário florestal de um povoamento de Pinus. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p. 865-873,2004.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; CARVALHO, A.F.; SOUZA, A.L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29. n. 4, p.579-589, 2005.

PECE DE RIOS, M.G.V. **Um modelo de crescimento e produção aplicado a plantações de *Eucalyptus pellita***. 1993. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

ROSAS, M.P. **Alternativas de determinação da idade técnica de corte de *Eucalyptus urophylla***. 1994. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

SOARES, C.P.B. **Um modelo para o gerenciamento da produção de madeira em plantios comerciais de eucalipto**. 1999. 71 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

SOUZA, R.N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

TITUS, S.J.; MORTON, R.T. Forest stand growth models: **Forestry Chronicle**, Ottawa, v. 61, n. 1, p. 19-22, 1985.

TREVIZOL JÚNIOR, T.L. **Análise de um modelo compatível de crescimento e produção em plantações de *Eucalyptus grandis* (W.Hill ex-Maiden)**. 1985. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

CAPÍTULO 1

ESTIMAÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES EM POVOAMENTOS NÃO-DESBASTADOS DE CLONES DE EUCALIPTO

1. INTRODUÇÃO

A estimativa do volume de árvores individuais é geralmente obtida por meio de equações de volume ou de afilamento (*taper*). Para gerar essas equações são usados dados de cubagem de árvores abatidas ou de árvores cubadas ainda em pé, utilizando instrumentos específicos, como o telerelascópio ou um pentaprisma.

A amostragem para geração de equações de volume para florestas equiâneas é normalmente feita por espécie, espaçamento, classe de idade e regime de corte (CAMPOS e LEITE, 2006). Na prática, quanto maior o número de estratos maior a precisão, porém maior é o custo de amostragem. No caso de plantios de eucalipto, quando a amostragem é bem planejada é possível complementar a amostra anualmente com o abate de árvores em novas classes de diâmetro, o que resulta em um reduzido número de árvores-amostra ao final da rotação. Por outro lado, a alternativa de abater árvores em todas as classes de diâmetro, de modo independente, em cada idade, implica grande frequência de árvores-amostra ao final da rotação. Do ponto de vista teórico isso seria interessante, pois, em alguns casos, o número ideal de árvores-amostra para ajuste de um modelo

volumétrico pode chegar a 100 ou 150 árvores (GUIMARÃES *et al.*, 1996). Entretanto, no caso de plantios clonais essa grande frequência pode se tornar inviável, devido a aumento nos custos.

Algumas metodologias desenvolvidas podem ser usadas para otimizar o procedimento de cubagem. Leite e Andrade (2004) desenvolveram um método conhecido como método da altura relativa, que pode ser usado para evitar o abate de número excessivo de árvores-amostra. Segundo Gorgens (2006), o uso de redes neurais também pode ser uma técnica para otimizar o processo de cubagem de árvores.

A estratificação para fins de estimação de equações volumétricas é trivial quando se trata de plantios de semente. Por outro lado, quando se trata de clones, muitas vezes é necessário agrupá-los com base em critérios complementares.

Em muitos casos é impossível ou inviável contar com dados de cubagem para geração de equações volumétricas. Quando existe um número excessivo de clones plantados, muitos deles com áreas reduzidas, é comum aplicar equações mais genéricas. Uma solução interessante nesses casos é estimar equações específicas para clones mais representativos e utilizar equações genéricas para os demais. Uma equação genérica pode ser aquela ajustada com dados agrupados de vários clones, ou uma equação específica aplicada a vários outros clones, para os quais não se têm equações. Algumas idéias de agrupamento com base na forma do fuste são encontradas em Campos e Leite (2006).

A estimação de equações volumétricas em empresas do setor privado, há muito tempo, é uma prática usual. O principal modelo tem sido o de Schumacher e Hall (1933). Em alguns casos são usadas funções de *taper*, adotando modelos polinomiais, como aqueles encontrados em Campos e Leite (2006). Para plantios de semente, esses modelos, especialmente o de volume, têm sido ajustados por espécie, método de regeneração, espaçamento e classe de idade. O ajuste desse e de outros modelos tem sido feito por procedimentos usuais, como o método de mínimos quadrados ordinários, por procedimentos iterativos, ou utilizando redes neurais. O modelo de Schumacher e Hall tem sido ajustado, na maioria das vezes, por procedimentos de regressão linear.

Com a introdução dos plantios clonais no País a partir de 1979 (FERREIRA, 1992), a quantificação de volume de árvores passou a ser, de certa forma, um novo desafio. Este desafio existe devido à dinâmica que envolve a introdução de clones anualmente.

A maioria das empresas florestais tem um número variado de materiais genéticos (clones) plantados. Às vezes um material genético é plantado, e antes da colheita sua substituição já está definida para o próximo ciclo. Independentemente desta dinâmica, é necessário que se tenham todas as estimativas de volume de todos os materiais genéticos.

Os objetivos deste trabalho foram desenvolver e propor um procedimento para quantificação do volume de árvores em plantios clonais de eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos de povoamentos de *Eucalyptus* sp., pertencentes à empresa CAF – Santa Bárbara Ltda., que faz parte do grupo ARCELOR. A empresa tem como atividade comercial a produção de carvão vegetal. Os plantios estão presentes em Minas Gerais e Bahia, sendo distribuídos nas seguintes regiões: Teixeira de Freitas (região da Bahia - RBA), Martinho Campos (Região Centro-Oeste - RCO), Carbonita (Região Norte - RNO) e Coronel Fabriciano e Ponte Alta (região do Rio Doce - RRD).

Foram utilizados dados de 2.036 árvores abatidas e cubadas no período de abril de 2002 a maio de 2006. Os diâmetros ao longo do fuste foram medidos nas posições de 0,10 e 1,30 m, e a partir deste ponto as seções foram medidas de 1,0 em 1,0 m, até a altura onde se encontrava o diâmetro com casca de cerca de 2,5 cm. Os estratos para fins de cubagem foram definidos pela região e pelo material genético (clone), totalizando 45 estratos (Tabela 1). Foram cubadas, em média, cinco árvores por classe de *dap* (diâmetro a 1,30 m de altura) com amplitude de 2,0 cm, tendo sido observada uma variação de *dap* de 3,9 a 26,1 cm e em altura, de 5,6 a 33,8 m.

Tabela 1 – Número de árvores-amostra (*N*) e amplitude dos diâmetros (*dap*) e das alturas totais (*Ht*) das árvores cubadas por estrato

Estrato	<i>N</i>	<i>dap</i> (cm)			<i>Ht</i> (m)		
		Mínimo	Médio	Máximo	Mínima	Médi	Máxima

					a		
RBA CAF05	51	6,4	18,0	26,1	10,7	24,2	32,0
RBA CAF08	45	4,8	14,7	22,0	7,8	21,1	24,9
RBA CAF09	50	6,7	17,8	26,1	13,0	24,8	32,8
RBA CAF11	70	5,1	16,4	26,1	9,7	21,7	31,2
RBA CAF21	68	4,8	17,5	23,9	7,2	21,9	28,6
RBA CAF25	42	4,5	8,2	11,1	6,7	11,4	15,4
RBA CAF26	42	5,1	14,4	20,1	8,7	19,8	24,7
RBA CAF27	52	5,7	16,9	23,9	10,6	22,5	29,7
RBA CAF28	40	4,8	15,0	20,7	9,1	20,7	26,6
RBA CAF29	55	4,8	17,3	25,1	8,7	24,1	33,8
RBA CAF30	50	6,4	17,9	26,1	12,1	24,1	30,0
RBA CAF31	29	4,5	11,1	15,9	6,8	14,2	15,9
RBA CAF36	124	4,8	14,2	22,0	8,9	21,8	28,0
RBA CAF37	37	5,4	13,5	18,1	6,7	19,1	24,8
RBA CAF37 C.ERVA	39	5,4	15,1	19,7	6,0	22,8	27,6
RBA CAF37_PALHAL	51	5,7	15,8	22,0	7,7	22,6	31,4
RBA CAF44	91	4,5	13,5	18,1	8,8	19,4	25,3
RBA CAF46	133	5,1	16,1	22,0	7,5	19,1	25,3
RCO CAF03	19	5,4	13,9	20,2	6,6	16,0	24,5
RCO CAF15	40	5,4	11,9	16,9	7,4	15,0	23,1
RCO CAF19	35	5,4	13,7	19,7	6,5	17,9	24,5
RCO CAF21	12	5,7	12,6	19,7	7,9	16,0	19,6
RCO CAF26	34	4,6	11,1	15,9	8,7	16,2	23,0
RCO CAF28	34	4,6	10,1	14,3	9,2	14,9	22,0
RCO CAF37	34	5,1	11,5	17,5	7,2	14,1	23,8
RCO CAF46	51	5,7	15,8	21,0	7,3	18,2	28,0
RNO CAF22	36	5,6	11,1	15,4	9,0	15,1	21,5
RNO CAF42	39	4,8	11,1	15,6	6,8	14,8	22,5
RNO CAF47	36	4,8	11,2	15,3	6,9	16,7	23,1
RNO CAF49	46	4,7	10,8	16,0	7,7	16,3	24,3
RNO CAF50	40	5,0	10,9	15,3	8,8	17,4	23,3
RRD CAF01	53	3,9	11,1	17,3	7,7	15,3	20,8
RRD CAF11	39	4,1	10,5	15,5	7,4	14,0	18,8
RRD CAF13	44	4,5	12,0	17,5	7,7	15,7	21,1
RRD CAF16	25	5,0	9,6	13,5	7,9	13,3	17,5
RRD CAF25	47	4,3	10,4	15,2	8,5	15,1	20,1
RRD CAF26	20	5,7	10,2	13,7	11,1	14,8	17,5
RRD CAF28	51	4,5	10,8	16,0	7,4	14,3	18,8
RRD CAF31	20	6,0	10,1	12,7	10,8	13,8	17,2
RRD CAF36	34	4,8	12,0	17,8	9,0	17,4	22,8
RRD CAF37	40	5,1	10,0	12,4	8,3	14,6	17,4
RRD CAF43	23	4,1	8,5	12,9	5,6	10,4	16,1
RRD CAF46	46	5,4	10,8	14,3	10,2	15,1	19,0
RRD CAF47	25	4,2	9,6	13,4	8,4	13,9	18,1
RRD CAF51	20	5,1	9,8	13,1	9,9	14,3	16,5

2.2. Equações de volume

O volume total observado com casca de cada árvore-amostra foi obtido pelo método de Smalian (HUSCH *et al.*, 2003). De posse dos dados de volume, o modelo de Schumacher e Hall (1933) foi ajustado para cada estrato, na forma:

$$\text{Ln}V = \beta_0 + \beta_1 \text{Ln}dap + \beta_2 \text{Ln}Ht + \varepsilon$$

em que

Ln = logaritmo neperiano;

V = volume comercial com casca, em m^3 ;

β_i = parâmetros do modelo, $i = 0, 1$, e 2 ;

dap = diâmetro a 1,30 m de altura solo, em cm;

Ht = altura total, em m; e

ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Conforme sugerido por Campos *et al.* (1985), foi avaliada a discrepância logarítmica em análises prévias e não foi confirmada a ocorrência de discrepância logarítmica.

2.3. Procedimento proposto

Com os dados das árvores cubadas foi ajustado o modelo de *taper*, desenvolvido por Kozak *et al.* (1969), para cada árvore, conforme relação funcional a seguir:

$$\left(\frac{d_i}{dap}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \frac{h_i}{Ht} + \beta_2 \left(\frac{h_i}{Ht}\right)^2 + \varepsilon$$

em que

d_i = diâmetro na altura h_i , em cm;

dap = diâmetro a 1,30 m de altura, em cm;

h_i = altura onde ocorre o diâmetro d_i , em m;

Ht = altura total, em m;

β_i = parâmetros da regressão ($i=0, 1$, e 2); e

ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

O modelo de Kozak *et al.* (1969) foi utilizado pela sua facilidade de ajuste e emprego (CAMPOS e LEITE, 2006). Outros modelos (DEMAERSCHALK, 1972; BURKHART, 1977; BIGING, 1984; GARAY, 1979) foram testados, porém, para algumas árvores, não resultaram em ajustes adequados sob o ponto de vista estatístico.

Para outros oito clones novos o modelo foi ajustado, utilizando dados de três árvores (uma “pequena”, uma “média” e outra “grande”), representando locais com qualidade inferior, média e superior. Conforme citado anteriormente, esses clones não tinham dados suficientes para representar um estrato de cubagem, como os apresentados na Tabela 1.

Com os parâmetros estimados do modelo de Kozak para todas as árvores, foi empregado um procedimento para calcular a similaridade entre os parâmetros dos n clones e n árvores. Para isto foi utilizada a distância euclidiana (CRUZ *et al.*, 2004):

$$d_{ii'} = \sqrt{\sum_{j=1}^p (X_{ij} - X_{i'j})^2}$$

em que

$d_{ii'}$ = distância euclidiana entre dois clones i e i' ; e

X_{ij} e $X_{i'j}$ = observação no i -ésimo clone ($i = 1, 2, \dots, n$) em referência ao j -ésimo parâmetro ($j = 1, 2, \dots, p$).

De posse da matriz da distância euclidiana foi determinado, pelo menor valor da distância, à qual árvore o clone novo era mais similar, quando comparado com as árvores dos clones comerciais.

Após a determinação da árvore com maior similaridade, foi verificado a qual estrato (clone e região) o novo clone pertencia e estimado o volume, utilizando a equação de Schumacher e Hall do respectivo estrato. A estimativa do volume foi então feita para as três árvores utilizadas no ajuste do modelo de *taper*.

O procedimento descrito e proposto neste estudo foi denominado de método da similaridade de perfis.

2.4. Verificação do método da similaridade de perfis

O teste F (GRAYBILL, 1976), a 5% de probabilidade, foi utilizado para comparar as estimativas dos volumes obtidas por meio da equação de Schumacher e Hall, com os correspondentes volumes observados de cada árvore dos clones novos.

Posteriormente foram sorteadas três árvores, com *dap* relativamente pequeno, médio e grande, de dois clones comerciais. As outras árvores desses clones foram excluídas para a análise. O método da similaridade de perfis foi aplicado para cada clone sorteado. Em seguida, foi empregada a equação de Schumacher e Hall do estrato de cubagem, determinado pela menor distância euclidiana. Foram geradas as estimativas do volume das três árvores escolhidas, além das outras árvores do clone sorteado. Os volumes estimados das árvores com os seus volumes observados foram comparados pelo teste F (GRAYBILL, 1976), a 5% de probabilidade. Esta comparação foi realizada para os dois clones separadamente.

2.5. Validação do método da similaridade de perfis

A validação foi realizada com dados independentes, para avaliar a aplicabilidade do método da similaridade de perfis. Foram utilizados dados de *Eucalyptus* sp. coletados em uma empresa localizada na região norte de Minas Gerais, distribuídos em 20 estratos, representados por 14 clones e três projetos. Desta forma, três árvores foram selecionadas ao acaso, sendo uma árvore grande, uma média e uma pequena, em termos de altura e diâmetro. Abatidas essas árvores, foi realizado todo o procedimento de cubagem já descrito. Posteriormente, com a equação de Schumacher e Hall (1933), indicada para ser usada no estrato (clone-projeto) considerado novo, foram comparados os volumes, utilizando a equação específica do clone e a equação proposta. Esta comparação foi realizada em nível de talhão. Neste caso optou-se por usar o teste *qui-quadrado* (NESBITT, 1995), pelo fato de os dados não apresentarem normalidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise do método da similaridade de perfis

As equações de volume obtidas para os clones comerciais apresentaram estimativas precisas e livres de tendência. Este fato foi comprovado por meio de análises de resíduos. As estimativas dos parâmetros do modelo de Schumacher e Hall (1933) e os respectivos coeficiente de determinação (R^2) e erro-padrão residual (s_{yx}) estão apresentados na Tabela 2.

Utilizando o método da similaridade de perfis com a estimativa dos parâmetros do modelo de Kozak e a distância euclidiana, verifica-se que as estimativas dos parâmetros do modelo de *taper* dos clones novos com os clones comerciais foram bem próximas, apresentando variação, para mais ou para menos, menor que 2,0% para todos os parâmetros, com exceção do clone CAF18 na região RCO, que apresentou variação maior que 6,0% (Tabela 3).

A Figura 1 foi elaborada com os dados de diâmetro e altura da maior árvore do clone novo como referência, tendo sido estimados os valores de $d.dap^{-1}$ com a equação ajustada pelo modelo de Kozak, da árvore do clone comercial determinada como semelhante. Os pontos no gráfico representam o clone novo e a linha representa a estimativa obtida pela equação do clone

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros do modelo de Schumacher e Hall (1933), em que β_0 , β_1 e β_2 são parâmetros do modelo, s_{yx} = erro-padrão (m^3) e R^2 = coeficiente de determinação ajustado, por estrato

Estrato	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	s_{yx}	\bar{R}^2
RBA CAF 05	10,006039	1,915763	1,001996	0,0548	0,9974
RBA CAF 08	10,562489	1,883262	1,212464	0,0657	0,9970

	-				
RBA CAF 09	10,575822	1,752832	1,330280	0,0476	0,9979
	-				
RBA CAF 11	10,536282	1,793510	1,270369	0,0821	0,9956
	-				
RBA CAF 21	10,332776	1,972863	1,053288	0,0774	0,9962
RBA CAF 25	-9,797945	1,702020	1,130670	0,0506	0,9947
	-				
RBA CAF 26	10,377556	2,039772	1,021917	0,0669	0,9969
	-				
RBA CAF 27	10,669114	1,707105	1,398614	0,0669	0,9961
	-				
RBA CAF 28	10,445954	2,122684	0,962524	0,0741	0,9962
	-				
RBA CAF 29	11,057748	1,556687	1,652905	0,0826	0,9964
	-				
RBA CAF 30	10,278855	1,793375	1,205558	0,0670	0,9958
	-				
RBA CAF 31	10,463950	2,069002	1,002917	0,0948	0,9899
	-				
RBA CAF 36	10,520443	2,068874	1,033023	0,0857	0,9941
	-				
RBA CAF 37	10,501713	1,929191	1,157639	0,0568	0,9980
	-				
RBA CAF 37 C.ERVA	10,265423	1,819074	1,183204	0,0663	0,9978
	-				
RBA CAF 37_PALHAL	10,259721	1,890093	1,111719	0,0556	0,9979
	-				
RBA CAF 44	10,605344	2,021452	1,105065	0,0613	0,9972
	-				
RBA CAF 46	10,591851	1,949649	1,162975	0,0776	0,9964
	-				
RCO CAF 03	10,016906	1,737502	1,156448	0,0838	0,9951
	-				
RCO CAF 15	10,194340	2,022959	0,966828	0,0717	0,9950
	-				
RCO CAF 19	10,471864	1,946304	1,141197	0,0524	0,9979
	-				
RCO CAF 21	10,403558	2,090698	1,002262	0,0437	0,9984
RCO CAF 26	-9,810933	2,019099	0,840127	0,0494	0,9977
	-				
RCO CAF 28	10,102963	1,837194	1,112411	0,0616	0,9951
	-				
RCO CAF 37	10,319443	2,082663	0,948717	0,0633	0,9958
	-				
RCO CAF 46	10,116255	2,061775	0,878916	0,0601	0,9972
	-				
RNO CAF 22	10,033692	1,836512	1,085094	0,0456	0,9972
	-				
RNO CAF 42	10,056954	1,736388	1,189847	0,0373	0,9987
RNO CAF 47	-9,882564	2,469194	0,485224	0,0943	0,9914
RNO CAF 49	-9,925665	1,873445	1,018020	0,0254	0,9992
	-				
RNO CAF 50	10,107288	1,809035	1,112682	0,0394	0,9980
	-				
RRD CAF51	11,387603	1,856698	1,554906	0,0622	0,9931
RRD CAF 01	-9,947467	1,878323	1,004443	0,0592	0,9964
RRD CAF 11	-9,810666	1,944929	0,884514	0,1385	0,9793
RRD CAF 13	-9,797646	1,917299	0,900996	0,0821	0,9937
RRD CAF 16	-9,573507	2,030410	0,744722	0,0649	0,9937

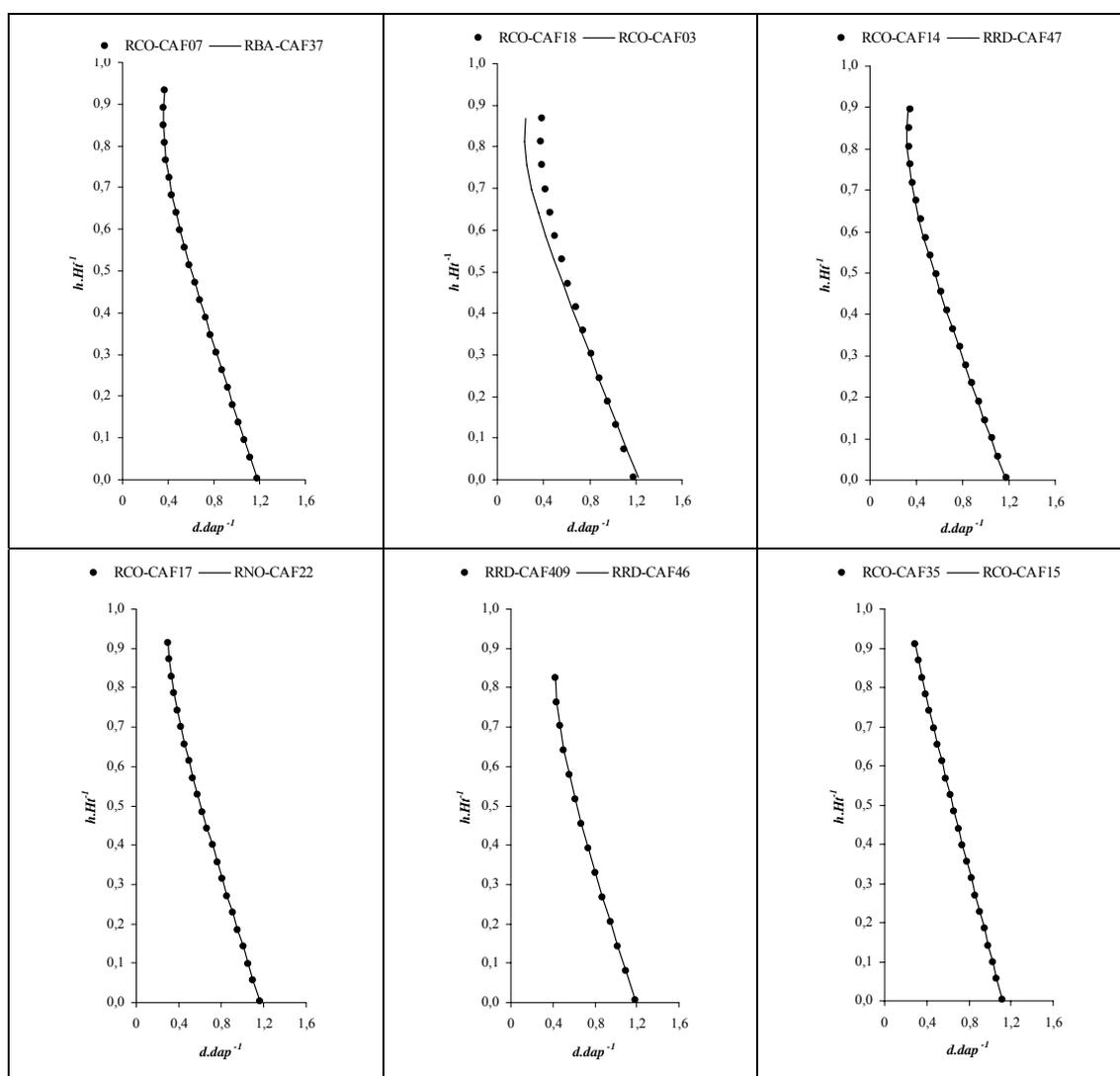
RRD CAF 25	-9,784367	1,988955	0,861684	0,0808	0,9924
RRD CAF 26	-9,878195	2,163634	0,729324	0,0596	0,9907
	-				
RRD CAF 28	10,273137	1,752036	1,234352	0,1177	0,9732
	-				
RRD CAF 31	10,174193	2,125800	0,872713	0,0709	0,9847
RRD CAF 36	-9,633992	2,164754	0,642407	0,1159	0,9882
	-				
RRD CAF 37	10,298336	1,987604	1,046693	0,0792	0,9849
RRD CAF 43	-9,788763	1,809868	0,983403	0,0661	0,9943
	-				
RRD CAF 46	10,452778	1,937329	1,120391	0,1011	0,9796
RRD CAF 47	-9,820673	1,940609	0,890678	0,0426	0,9977

Tabela 3 – Estimativas dos parâmetros (β_0 , β_1 e β_2) do modelo de Kozak e distância euclidiana, em que controle 1 = clone novo, 2 = clone comercial e IGUA = igualdade percentual entre o parâmetro do clone novo e o do clone comercial

Controle	Região	Material Genético	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	Distância Euclidiana
1	RCO	CAF07	1,431462	-2,988481	1,696123	0,0442
2	RBA	CAF37	1,414698	-2,948366	1,688150	
		IGUA%	98,83	98,66	99,53	
1	RCO	CAF14	1,397291	-3,068700	1,834764	0,0147
2	RRD	CAF47	1,384251	-3,063899	1,830050	
		IGUA %	99,07	99,84	99,74	
1	RCO	CAF17	1,376763	-2,689106	1,429119	0,0153
2	RNO	CAF22	1,365662	-2,698904	1,425282	
		IGUA %	99,19	100,36	99,73	
1	RCO	CAF18	1,424884	-3,104030	1,880620	0,0417
2	RCO	CAF03	1,512080	-3,538107	2,145660	
		IGUA %	106,12	113,98	114,09	
1	RCO	CAF35	1,244618	-2,146092	0,939003	0,0121
2	RCO	CAF15	1,256092	-2,142208	0,938540	
		IGUA %	100,92	99,82	99,95	
1	RCO	CAF38	1,282639	-2,601971	1,468947	0,0328
2	RBA	CAF37_PALHAL	1,266544	-2,589846	1,494779	
		IGUA %	98,75	99,53	101,76	
1	RCO	CAF45	1,399189	-2,880068	1,631849	0,0228
2	RNO	CAF50	1,417666	-2,870354	1,641103	
		IGUA %	101,32	99,66	100,57	
1	RRD	CAF409	1,426634	-2,934853	1,709917	0,0160

2	RRD	CAF46	1,428854	-2,935601	1,725758
		IGUA %	100,16	100,03	100,93

comercial semelhante. Todos os clones têm formas distintas de fuste, e as árvores dos clones comerciais que foram determinadas como semelhantes permitiram representar com eficiência as respectivas formas. Como já determinado na Tabela 3, o clone CAF18, que teve como clone comercial semelhante o CAF03, ambos na região RCO, apresentou desempenho inferior, pois houve diferença na parte superior do fuste, que representa menor volume comercial.



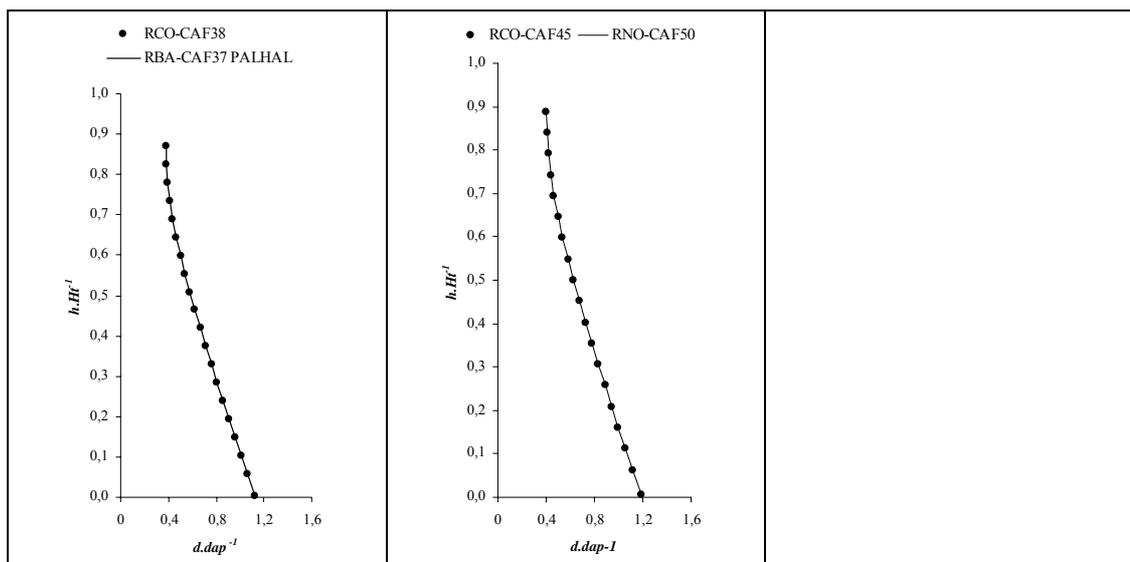


Figura 1 – Análise do perfil de árvores dos clones, obtidos pela equação de *taper*, em que os pontos representam a estimativa da maior árvore do clone novo e a linha representa a estimativa utilizando a equação da árvore do clone comercial semelhante.

3.2. Verificação do método da similaridade de perfis

Após a determinação do estrato de cubagem ao qual o novo clone pertencia, foi calculado o volume total deste estrato, utilizando a equação de Schumacher e Hall, e comparado com o seu volume observado; esse procedimento foi feito para todos os clones novos e por árvore (Tabela 4).

Pelo teste F (F calculado = 1,38 a 5% de probabilidade) foi verificado que os volumes estimados foram semelhantes aos volumes observados, comprovando a eficiência do método da similaridade de perfis.

Tabela 4 – Estimativa de *dap* (cm), *Ht* (m), volume observado (m³), volume estimado pela equação de Schumacher e Hall do clone semelhante e resíduo $100(\hat{v} - v)^{-1}$, em porcentagem, por material genético e por região

Região	Material Genético	<i>dap</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)	Volume Observado (m ³)	Volume Estimado (m ³)	Resíduo
RCO	CAF38	14,32	18,90	0,1333	0,1407	5,55
RCO	CAF38	13,05	16,30	0,0943	0,1001	6,15
RCO	CAF38	19,10	22,20	0,2816	0,2899	2,95
RCO	CAF14	5,41	6,50	0,0072	0,0076	5,56
RCO	CAF14	14,01	17,30	0,1236	0,1154	-6,63
RCO	CAF14	21,01	22,70	0,3081	0,3228	4,77

RRD	CAF409	5,54	8,20	0,0099	0,0084	-15,15
RRD	CAF409	8,37	15,80	0,0448	0,0390	-12,95
RRD	CAF409	11,40	16,10	0,0707	0,0724	2,40
RCO	CAF17	5,41	9,80	0,0103	0,0116	12,62
RCO	CAF17	16,87	21,20	0,2430	0,2164	-10,95
RCO	CAF17	19,10	23,30	0,2910	0,3011	3,47
RCO	CAF07	5,73	9,70	0,0103	0,0111	7,77
RCO	CAF07	10,19	14,30	0,0553	0,0526	-4,88
RCO	CAF07	18,78	23,90	0,2953	0,3105	5,15
RCO	CAF45	4,77	8,10	0,0060	0,0071	18,33
RCO	CAF45	7,96	8,60	0,0202	0,0190	-5,94
RCO	CAF45	17,51	20,60	0,2106	0,2096	-0,47
RCO	CAF18	13,05	15,60	0,0907	0,0929	2,43
RCO	CAF18	6,68	11,20	0,0178	0,0198	11,24
RCO	CAF18	18,40	17,60	0,2030	0,1939	-4,48
RCO	CAF35	7,32	11,30	0,0223	0,0219	-1,79
RCO	CAF35	16,55	19,80	0,2133	0,1959	-8,16
RCO	CAF35	21,01	23,40	0,3417	0,3729	9,13

Na Tabela 5 estão os dados de dois clones comerciais sorteados e a região a que eles pertencem. Após o sorteio, foram separadas três árvores para cada clone, seguindo o porte, isto é, uma árvore de porte baixo, médio e grande.

Tabela 5 – Valores de *dap* (cm) e altura total (m) por árvore e por estratos dos clones sorteados

Região	Material Genético	Árvore	<i>dap</i> (cm)	<i>Ht</i> (m)
RRD	CAF28	1	6,6	8,7
		2	11,1	13,8
		3	15,8	17,9
RCO	CAF15	1	5,7	8,2
		2	10,2	10,8
		3	16,6	23,1

Com esses dados foi estimada a equação de Kozak para cada estrato e, posteriormente, foi aplicado o método da similaridade de perfis para determinar qual árvore, entre as árvores dos clones comerciais restantes, era a mais semelhante. Diante disto foi determinado a qual novo estrato esses clones pertenciam (Tabela 6).

Tabela 6 – Estimativas dos parâmetros (β_0 , β_1 e β_2) do modelo de Kozak e distância euclidiana, em que controle 1 = clone comercial considerado novo, 2 = clone comercial e IGUA = igualdade percentual entre o parâmetro do clone comercial considerado novo e o do clone comercial

Controle	Região	Material Genético	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	Distância Euclidiana
1	RRD	CAF28	1,3690	-2,9178	1,7610	0,0375
2	RRD	CAF47	1,3709	-2,9109	1,7242	
IGUA%			100,14	99,76	97,91	
1	RCO	CAF15	1,4077	-2,7567	1,4586	0,0529
2	RNO	CAF22	1,3973	-2,7648	1,5098	
IGUA %			99,26	100,29	103,51	

Na Figura 2 foram plotados os volumes observados de cada árvore para os estratos sorteados e as estimativas dos volumes individuais, utilizando a equação de Schumacher e Hall, do estrato semelhante.

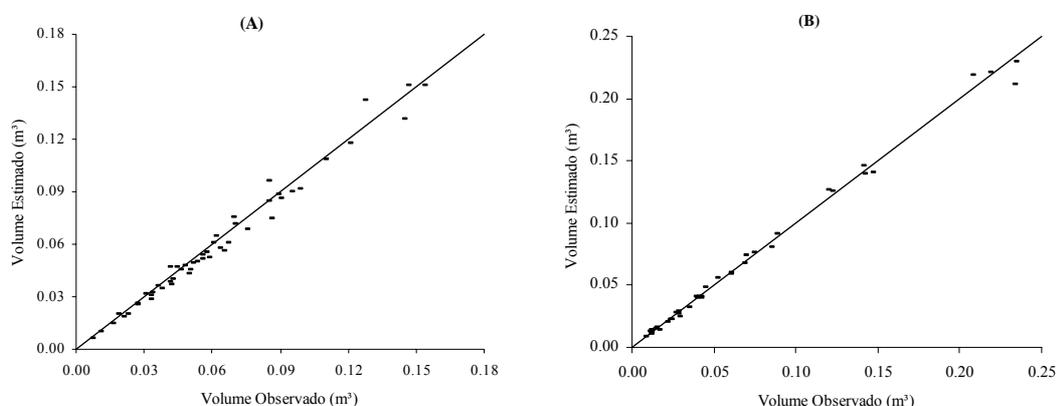


Figura 2 – Relação entre valores observados e estimados pela equação de volume (m^3) do estrato semelhante, em que (A) = estrato sorteado RRD-CAF28 e (B) = estrato sorteado RCO-CAF15.

A equação do estrato semelhante aplicado para o estrato RRD-CAF28 teve a tendência de superestimar o volume, porém esta tendência não influenciou o teste F ($F_{\text{calculado}} = 1,31$), que foi não-significativo a 5% de probabilidade (Figura 2A). Para o clone RCO-CAF15 (Figura 2B) não houve

qualquer tendência, sendo o teste F ($F_{\text{calculado}} = 1,23$) também não-significativo, ou seja, nos dois estratos avaliados o volume observado foi igual ao volume estimado pela equação de volume do estrato semelhante.

3.3. Validação do método da similaridade de perfis

A Tabela 7 apresenta o resultado do volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) estimado, usando a equação de volume do próprio estrato e a equação do estrato semelhante. Os valores foram próximos, com maior diferença para o talhão 1, que apresentou o volume estimado pela equação semelhante igual a 3,58% abaixo do volume estimado pela equação própria. Em termos de volume total, considerando os cinco talhões, a diferença foi de -0,88%, sendo este um resultado satisfatório.

Tabela 7 – Estimativas do volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) dos talhões do clone sorteado, utilizando a equação de volume de Schumacher e Hall (1933) própria e a equação do estrato semelhante

Talhão	Área (ha)	Volume ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)		Diferença (%)
		Equação		
		Própria	Semelhante	
1	25,20	139,97	134,96	-3,58
2	23,45	100,73	100,57	-0,16
3	34,40	94,24	93,7	-0,57
4	49,30	105,73	105,22	-0,48
5	23,00	80,36	81,97	2,00
Total	155,35	521,03	516,42	-0,88

O teste *qui-quadrado* resultou em um valor calculado de 0,22, sendo o valor tabelado a 95% de probabilidade de 11,07, ou seja, os volumes estimados são iguais, demonstrando que o método da similaridade de perfis tem aplicação prática para determinação de volume para estratos que não tenham equação própria de volume.

Diante do que foi apresentado, o procedimento proposto, denominado de método da similaridade de perfis, pode ser resumido da seguinte forma:

1. abate e cubagem de árvores de clones comerciais, ou importar bases de dados existentes de clones comerciais;
2. ajuste de equações de volume para cada estrato de cubagem;

3. ajuste do modelo de Kozak para cada árvore cubada;
4. abate e cubagem de três árvores de clones novos, sendo uma árvore pequena, uma média e uma grande, em termos de *dap* e altura total, e posterior ajuste do modelo de Kozak, considerando as três árvores;
5. cálculo da distância euclidiana entre os parâmetros do modelo de Kozak do clone novo com os parâmetros de cada árvore dos clones comerciais, e determinação da árvore mais similar através do menor valor da distância euclidiana; e
6. determinação do estrato ao qual a árvore similar pertence, sendo, identificada a equação de volume a ser aplicada no novo clone.

4. CONCLUSÕES

O procedimento proposto, denominado de método da similaridade de perfis usado para estimar volume individual de árvores de clones de eucalipto, pode ser usado para estimar volume de árvores dos clones que não têm equações específicas, o que resulta em maior precisão das estimativas de inventário, quando comparado a estimativas obtidas por equações genéricas. O método da similaridade de perfis gera estimativas semelhantes, ao comparar dados observados e estimados, tanto de árvores individuais como de todo um talhão.

O volume de árvores de clones novos, para os quais ainda não se tem equação de volume, pode ser determinado a partir de cubagem de três árvores (uma pequena, uma média e uma grande) e de um banco de dados de cubagem de outros clones comerciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIGING, G. S. Taper equations for second mixed-conifers of Northean California. **Forest Science**, v. 30, n. 4, p. 1103-1117, 1984.

BURKHART, H. E. Cubic-foot volume of Loblolly Pine to any merchantable top limit. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 1, n. 2, p. 7-9, 1977.

CAMPOS, J.C.C.; TREVIZOL JUNIOR, T.L.; PAULA NETO, F. Ainda, sobre a seleção de equações de volume. **Revista Árvore**, v. 9, n. 2, p. 115-126, 1985.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 470 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Volume 1, 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2004. 480 p.

DEMAERSCHALK, J.P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, v. 18, n. 3, p. 241-245, 1972.

FERREIRA, M. Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal. **IPEF**, v. 45, p. 22-30, 1992.

GARAY, L. **Tropical forest utilization system**. VIII. A taper model for entire stem profile including buttressing. Coll. Forest. Resour., Inst. Forest Prod. Univ. Wash. 1979. 64 p. (contrib. 36).

GORGENS, E. **Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais**. 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

GUIMARÃES, D.P.; LEITE, H.G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 50, p. 37-42, 1996.

GRAYBILL, F.A. **Theory and application of the linear model**. Massachusetts: Ouxburg Press, 1976. 704 p.

HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW JUNIOR, J. A. **Forest mensuration**. 4. ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 2003. 443 p.

KOZAK, A.; MUNRO, D.D.; SMITH, J.G.H. Taper functions and their applications in forest inventory. **Forest Chronicle**, v. 45, n. 4, p.278-283, 1969.

LEITE, H.G.; ANDRADE, V.C.L. Uso do método da altura relativa em inventário florestal de um povoamento de Pinus. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 865-873, 2004.

NESBITT, J.E. **Qui-quadrado**. São Paulo: Editora Harbra Ltda. 1995. 33 p.

SCHUMACHER, F.X.; HALL, F.S. Logarithmic expression of timber volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

CAPÍTULO 2

CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE PRODUTIVA DE POVOAMENTOS NÃO-DESBASTADOS DE CLONES DE EUCALIPTO

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a demanda por produtos florestais é alta, principalmente quando são utilizadas florestas clonais de eucalipto que, segundo Santos *et al.* (2006), proporcionam maior uniformidade da matéria-prima florestal, melhor adaptação aos diferentes ambientes de plantio, maior produção de madeira por unidade de área, racionalização das atividades operacionais e redução na idade de corte. Diante dessa demanda, o uso de práticas de

manejo adequadas é fundamental para o planejamento correto do empreendimento florestal.

O manejo de povoamentos equiâneos exige conhecimento sobre seus três elementos essenciais: 1) classificação de terras e da capacidade produtiva, 2) prescrições e 3) predição de estoques de colheita (DAVIS e JOHNSON, 1987). A classificação da capacidade produtiva está presente em dois dos três elementos essenciais do manejo (elementos 1 e 3).

A capacidade produtiva do local pode ser definida como o potencial para produção de madeira (ou outro produto) de um determinado lugar, para uma determinada espécie ou clone. Essa capacidade pode ser expressa de modo empírico (alta, média e baixa), ou por meio de índices quantitativos, como o índice de local (altura total média das árvores dominantes do povoamento em uma idade específica). Além disso, sua avaliação pode ser feita por meio de métodos diretos (relação altura dominante e idade) ou indiretos, com base na vegetação indicadora e em fatores edafoclimáticos (CAMPOS e LEITE, 2006). Conforme esses autores, a rápida expansão do uso de fertilizantes em reflorestamentos com eucalipto pode resultar na necessidade de revisão nos métodos de classificação usuais.

Historicamente as curvas de índices de local foram elaboradas para uma espécie em determinada região, sob determinado regime de manejo e espaçamento. Com o advento dos plantios clonais de eucalipto, tem-se a necessidade de agrupamento de clones com padrões de desenvolvimento semelhantes, sob um mesmo regime de manejo e espaçamento. Contudo, devido à dinâmica existente nesses plantios, onde clones são substituídos a cada ano por materiais genéticos com maior potencial produtivo, em muitos casos o agrupamento de clones não é suficiente para propósito de classificação. Conforme Heger (1973), a idade-índice considerada, o tipo de habitat ou ecorregião, a composição dos dados utilizados para construção das curvas e a presença de diferentes materiais genéticos (clones) resultam em feixes de curvas com diferentes formas. Por alguns desses motivos, muitas vezes o desejável balanceamento quanto à frequência dos índices de local encontrados não é verificado.

Embora os estudos sobre classificação da capacidade produtiva sejam antigos, por exemplo, Perthuis (1806), citado por Batho *et al.* (2006), Roth (1916), Watson (1917), Chapman *et al.* (1923) e Bull (1931), ao consultar na literatura de 1803 a 2007, verificou-se que são raros os estudos sobre construção de curvas de índices de local para plantios clonais de eucalipto em regiões tropicais. Nesse mesmo período, é possível verificar que na maioria das vezes as classificações foram feitas pelo método da curva-guia, utilizando dados de parcelas permanentes ou de análise de tronco. Também é possível verificar que os feixes de curvas de índices de local foram sempre construídos para uma espécie particular, muitas vezes em florestas de clima temperado. Outro fato é que há poucos estudos sobre classificação da capacidade produtiva de plantios clonais de eucalipto. Dentre eles, Tonini *et al.* (2003) contemplaram casos em que o número de parcelas permanentes e de medições dessas parcelas era suficiente para construção de feixes específicos por clone.

O índice de local é uma variável importante em estudos de crescimento e produção, e qualquer distorção na determinação deste índice influencia as estimativas de produção. Estimativas consistentes somente podem ser obtidas com uma avaliação precisa do potencial de crescimento (NEWBERRY e PIENNAR, 1978).

Diante dessas considerações e da significativa ocorrência de plantios de clones de eucalipto no Brasil, foi proposto este estudo, com os seguintes objetivos: desenvolver e propor um procedimento para estratificação de florestas de clones de eucalipto, visando a classificação da capacidade produtiva e modelagem do crescimento e da produção. As hipóteses formuladas foram:

Ho(1): florestas de clones de eucalipto não precisam ser estratificadas para fins de construção de curvas de índices de local *versus* Ha(1): não Ho(1); e

H0(2): florestas de clones de eucalipto não precisam ser estratificadas para fins de modelagem do crescimento e da produção *versus* Ha(2): não Ho(2).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram provenientes de inventários florestais contínuos realizados entre 1996 e 2006, em povoamentos de clones de eucalipto no Estado da Bahia, compreendendo cerca de 70.000 ha de florestas.

Inicialmente foram utilizados dados de 70 clones, distribuídos em 5.020 parcelas permanentes, devendo ser ressaltado que cada clone tinha pelo menos três medições com periodicidade anual. A numeração dos clones foi alterada para este trabalho. O número de medição para cada clone variou de acordo com a quantidade de parcelas medidas e a idade (Tabela 1). Para alguns clones, apesar de existirem em apenas poucas parcelas, já havia informação suficiente para definir a tendência de crescimento em altura dominante.

Em todas as parcelas mensuradas foram determinados, anualmente: a altura dominante média (Hd), em m; a área basal (B), em m^2 ; o diâmetro médio (q), em cm; e o volume comercial com casca (V), em m^3 . A área basal e o volume foram extrapolados para hectare. Os dados foram submetidos a uma criteriosa consistência, seguindo algumas recomendações encontradas em Curtis e Marshall (2005) e em Campos e Leite (2006). Alguns dados

Tabela 1 – Idade mínima e máxima e número de parcelas mensuradas por clone com mais de três medições

Clone	Idade (mês)		Número de Parcelas	Clone	Idade (mês)		Número de Parcelas
	Mínima	Máxima			Mínima	Máxima	
1	24,0	85,5	26	36	24,0	119,4	3
2	24,0	73,4	207	37	24,0	95,3	6
3	24,0	83,2	2	38	24,0	82,1	2
4	24,0	83,7	182	39	24,0	73,1	9
5	21,3	85,1	400	40	24,0	95,9	26
6	24,0	84,5	10	41	24,0	147,1	86
7	24,0	85,5	18	42	24,0	95,8	2
8	24,0	84,5	167	43	24,0	134,0	118
9	24,0	96,3	205	44	24,0	71,3	1
10	24,0	71,3	3	45	24,0	96,2	26
11	17,9	97,3	366	46	24,0	133,9	32
12	22,3	121,2	270	47	24,0	77,3	43
13	24,0	96,2	175	48	24,0	59,9	42
14	24,0	122,1	244	49	24,0	77,3	5
15	17,7	85,5	414	50	24,0	71,9	1
16	24,0	71,3	1	51	24,0	71,8	2
17	24,0	74,1	2	52	24,0	74,1	60
18	24,0	108,0	2	53	24,0	71,0	1
19	24,0	108,1	8	54	24,0	70,8	1
20	24,0	109,0	7	55	17,9	48,4	48
21	24,0	73,6	1	56	21,4	62,9	108
22	24,0	74,1	1	57	24,0	61,1	11
23	24,0	77,3	4	58	24,0	59,9	90
24	24,0	95,4	4	59	36,0	77,3	2
25	24,0	96,2	23	60	24,0	77,3	6
26	36,0	84,0	1	61	24,0	96,0	2
27	24,0	60,0	1	62	24,0	96,0	3
28	24,0	108,0	1	63	24,0	110,3	6
29	17,9	147,4	673	64	24,0	120,4	14
30	24,0	73,9	76	65	24,0	96,4	1
31	24,0	145,1	27	66	24,0	46,6	11
32	24,0	147,1	59	67	24,0	51,3	48

33	24,0	121,9	373	68	24,0	46,6	24
34	24,0	130,4	179	69	24,0	70,7	5
35	24,0	122,1	20	70	24,0	120,0	23
Total							5.020

foram eliminados, por se tratar de *outliers* (DRAPER e SMITH, 1998), enquanto outros foram eliminados para compatibilizar a frequência de parcelas permanentes por condições encontradas no povoamento.

2.2. Modelagem e análises para clones com mais de três medições

Para cada um dos 70 clones em escala comercial, com mais de três medições de parcelas permanentes, foi ajustado o modelo de regressão de Schumacher (1939), para as seguintes variáveis dependentes: área basal (B), altura dominante (Hd), diâmetro médio (q) e volume comercial com casca (V), resultando em oito estimativas de parâmetros para cada clone. A relação funcional utilizada foi:

$$Y = e^{\beta_0 + \beta_1 l^{-1}} + \varepsilon$$

em que

Y = variável dependente;

β_0 e β_1 = parâmetros da regressão;

l = idade, em meses; e

ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Com o propósito de estratificar os clones por grupos semelhantes, foi empregada a análise de agrupamento, com base nos oito parâmetros $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$, estimados para a totalidade dos clones. Estas variáveis foram utilizadas por serem relacionadas com a produtividade de um povoamento e com a qualidade do local.

A análise de agrupamento é uma técnica multivariada amplamente utilizada em Ciência Florestal, para diversos fins (SOUZA *et al.*, 1997; MARTINS *et al.*, 2003; SANTOS *et al.*, 2004; ALBUQUERQUE *et al.*, 2006).

O processo de agrupamento envolve a estimação de uma medida de similaridade (ou dissimilaridade) entre os progenitores (neste estudo, clones) e a adoção de uma técnica de agrupamento para a formação dos grupos (CRUZ e REGAZZI, 1994).

Segundo Freitas (1996), a estimação das medidas de dissimilaridade consiste na conversão da matriz de observações $n \times p$ (em que n o número de clones p o de variáveis) em uma matriz quadrada e simétrica, $n \times n$, de similaridades individuais, que são medidas da distância entre pares de indivíduos, dado o valor de um conjunto de p variáveis. Na interseção da i -ésima linha e k -ésima coluna dessa matriz, coloca-se a distância entre o i -ésimo e o k -ésimo indivíduo. A alta similaridade (pequena distância) indica que os indivíduos são próximos em relação ao conjunto de variáveis, enquanto a dissimilaridade (grande distância) indica o contrário. Existem várias medidas, e cada uma delas pode ser mais adequada para um conjunto específico de dados. Neste trabalho foi utilizada a distância euclidiana média, pelo fato de existirem variáveis com dimensões diferentes, ou seja, volume em m^3 , área basal em m^2 , altura dominante em m e diâmetro médio em cm (GARCIA, 1998).

A segunda etapa do processo de agrupamento consiste na escolha de um método de agrupamento. Dentre os métodos de agrupamento existentes, o de Tocher é muito utilizado, pelo fato de ser um método de otimização (PIASSI, 1994). Neste método, adota-se o critério de que a média das medidas de dissimilaridade, dentro de cada grupo, deve ser menor que as distâncias médias entre quaisquer outros grupos.

Um esquema para aplicação do método de Tocher é apresentado a seguir (GARCIA e LEITE, 2006):

- 1) Na matriz de dissimilaridade, identificar as menores distâncias entre os pares de indivíduos i e i' .

- 2) Entre as distâncias identificadas em (1), escolher a maior delas como o limite (α) de acréscimo na média da distância intragrupo.

- 3) Proceder à formação dos grupos da seguinte forma:

3.1) na matriz de dissimilaridade, identificar a menor delas. Os indivíduos i e i' , correspondentes a essa distância, formarão o grupo I;

3.2) calcular novas medidas de distância entre o grupo I e os demais indivíduos;

3.3) identificar o indivíduo mais similar ao grupo I, menor medida de distância obtida em (3.2);

3.4) calcular o acréscimo médio da distância dentro do grupo (intragrupo) pela inclusão do indivíduo identificado em (3.3); e

3.5) se o acréscimo médio for maior que o limite de acréscimo (α), o indivíduo em questão será incluído no grupo formado em (3.1). Caso contrário, o indivíduo em questão não poderá ser incluído no grupo já formado, passando-se à formação do grupo II a partir de uma nova matriz de dissimilaridade, constituída pelos indivíduos ainda não-agrupados.

Esse processo se repete até que todos os indivíduos (ou unidades amostrais) tenham sido alocados em seus devidos grupos.

Após realizar o primeiro agrupamento, pode ser feita a análise de componentes principais com o objetivo de descartar algum parâmetro que fosse irrelevante. Neste estudo, o propósito foi verificar a exclusão ou não de algum parâmetro da regressão e, em consequência, de alguma variável que foi mensurada.

Uma das técnicas de descartes de variáveis é aquela citada por Mardia *et al.* (1979), que se baseia no princípio de que a importância relativa dos componentes principais decresce do primeiro para o último; assim, tem-se que os últimos componentes são responsáveis pela explicação de uma fração mínima da variância total disponível. Desta forma, segundo o autor, a variável que apresenta maior coeficiente de ponderação (autovetor) no componente de menor autovalor é considerada de menor importância para explicar a variabilidade do material estudado, sendo passível de descarte.

Com a determinação do parâmetro de menor importância, o agrupamento foi realizado novamente e comparado com o agrupamento com todas as variáveis; caso este novo agrupamento fosse igual ao agrupamento com todas as variáveis, este parâmetro era descartado. O processo foi repetido até que fosse obtida a alteração do respectivo agrupamento, quando comparado com o agrupamento com todas as variáveis. Quando

ocorreu diferença entre os agrupamentos, a variável foi mantida e o processo de agrupamento foi encerrado.

Após a etapa de descarte da variável, usou-se o agrupamento final (método de Tocher) com as variáveis selecionadas. Este agrupamento foi realizado sucessivamente, até obter um número de estratos que agrupasse os clones com tendências de crescimento semelhantes.

O método para determinação dos índices de local foi o da curva-guia, utilizado por Clutter *et al.* (1983), considerando uma idade índice de 72 meses. Este método foi utilizado por ser compatível com as características dos dados em foco, além da sua simplicidade e eficiência. Cabe reportar que este é o método mais difundido entre as empresas florestais no Brasil (CAMPOS e LEITE, 2006).

O modelo logístico, conforme Draper e Smith (1998), foi ajustado para cada estrato:

$$Hd = \beta_0 \left(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 l} \right)^{-1} \varepsilon$$

em que

Hd = altura dominante, em m;

β_0, β_1 e β_2 = parâmetros da regressão;

l = idade, em meses; e

ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

2.3. Estimação do índice de local para clones com menos de três medições

Na Tabela 2 foram relacionados os clones com uma ou duas medições de parcelas permanentes e a frequência de parcelas por clone. Para os clones com uma só medição, foram utilizadas informações da idade, altura dominante, área basal, volume comercial e diâmetro médio, mensurados. No caso de clones com mais de uma parcela em idades diferentes, que é o caso dos clones 73, 74 e 78, foi calculada a média das

variáveis selecionadas na última idade. No caso dos clones 71 e 72, que possuíam a mesma idade, foi calculada a média das variáveis nessa idade.

Tabela 2 – Idade média observada, número de parcelas permanentes mensuradas e número de medições para cada clone com menos de três medições

Clone	Idade Média (mês)	Número de Parcelas	Número de Medições
71	22,9	2	1
72	23,1	2	1
73	24,4	4	1
74	24,5	4	1
75	23,1	1	1
76	23,0	1	1
77	65,1	1	2
78	42,8	3	2
Total		18	

Para cada clone com uma ou duas medições, foram obtidas informações de Hd , V , B e q para uma idade específica. Utilizando as equações de Schumacher de cada clone, para cada variável ajustada (item 2.2), foram então estimados os valores de Hd , V , B e q para a mesma idade do clone analisado. Este procedimento foi realizado para cada clone com menos de três medições.

Estimadas as variáveis para cada clone, foi empregado um procedimento em que a distância euclidiana média (CRUZ *et al.*, 2004) serve para calcular a similaridade entre os parâmetros das estimativas de Hd , V , B e q dos clones.

Calculada a distância euclidiana média, foi determinado a qual clone com mais de três medições o clone analisado era mais similar, o que foi feito com base na distância verificada.

Em seguida, após a determinação do clone com maior similaridade, foi verificado a qual estrato o clone analisado pertencia, o que permitiu empregar a equação de site do estrato mais similar na determinação do seu índice de local.

2.4. Importância do agrupamento de clones para fins de estimativa de crescimento e produção

Para verificar a necessidade da estratificação dos diferentes clones com finalidade de definir índices de local para estudos de crescimento e produção, foram avaliadas duas alternativas:

Alternativa 1: foi ajustado o modelo de Clutter *et al.* (1963), utilizando as estimativas de índices de local obtidas por meio de uma equação única, sem estratificação dos clones.

Alternativa 2: foi ajustado o modelo de Clutter para cada estrato, utilizando as estimativas de índices de local obtidas das equações específicas de cada estrato.

A partir do sistema de equações correspondentes a cada uma dessas duas alternativas, foi projetado o volume de 2005 para 2006 e comparadas suas estimativas com os volumes observados em 2006.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análises do procedimento proposto para clones com mais de três medições

As estimativas dos parâmetros referentes ao modelo de Schumacher, obtidos para cada clone e para cada variável mensurada, estão relacionadas na Tabela 3.

Com os dados da Tabela 3 efetuou-se a análise de agrupamento pelo método de Tocher, com base na distância euclidiana média, resultando em três grupos (Tabela 4), sendo o grupo 3 constituído de 67 clones.

Após a formação dos grupos, procedeu-se à análise de componentes principais para verificar o parâmetro que apresentasse a menor importância, para ser passível de descarte. O parâmetro que menos contribuiu foi a interseção (β_7) da variável volume, por apresentar o maior valor absoluto de autovetor no último componente formado, tendo o último componente apresentado o menor autovalor entre os outros componentes (Tabela 5).

Com a exclusão da variável β_{7_V} , o agrupamento foi realizado novamente. Observou-se que houve alteração no agrupamento do clone 31, que passou a fazer parte do grupo 3 (Tabela 6), enquanto os demais clones permaneceram no mesmo estrato. Entretanto, a variável eliminada (β_{7_V}) foi importante para definição dos grupos, e não pode ser desconsiderada.

Tabela 3 – Parâmetros do modelo de Schumacher obtidos para cada clone e para cada variável mensurada

Clone	β_{0_V}	β_{1_V}	β_{0_B}	β_{1_B}	β_{0_Hd}	β_{1_Hd}	β_{0_q}	β_{1_q}
1	6,7179	-60,8782	3,6043	-29,3429	3,7314	-21,4384	3,1790	-14,8222
2	6,4026	-52,6174	3,4764	-28,0300	3,7630	-21,9652	3,1159	-14,0371
3	6,7564	-67,7516	3,7343	-37,9305	3,7829	-23,7904	3,2580	-18,9306
4	6,5469	-59,7068	3,5383	-29,8562	3,7190	-21,0754	3,1253	-14,6086
5	6,6401	-65,7986	3,5941	-34,5599	3,8151	-25,2860	3,1505	-17,0831
6	6,6828	-63,3643	3,6241	-32,7024	3,8328	-25,1385	3,1749	-16,6443
7	6,8318	-71,2691	3,8059	-39,3289	3,7737	-25,2577	3,2586	-19,5253
8	6,8739	-62,7794	3,5830	-30,7633	3,7731	-22,5016	3,1573	-15,1727
9	6,4472	-57,4105	3,5435	-31,6314	3,7048	-22,0629	3,1689	-15,8391
10	6,5601	-59,9098	3,3110	-23,6335	3,7231	-22,1794	3,0833	-12,1602
11	6,5651	-55,2693	3,6792	-31,9912	3,7784	-22,1844	3,2181	-16,1173
12	6,5636	-58,9895	3,6380	-33,7884	3,7839	-22,6389	3,1922	-16,6202
13	6,5732	-62,7243	3,6231	-35,0283	3,7951	-24,8757	3,2000	-17,8129
14	6,4555	-53,0932	3,5812	-31,9192	3,7399	-20,7349	3,1525	-15,4186
15	6,5815	-58,8188	3,5543	-31,1840	3,7621	-22,6440	3,1452	-15,2929
16	6,6773	-64,8975	3,3234	-25,2126	3,7791	-24,4352	3,0913	-13,2144
17	6,8443	-61,5310	3,5583	-26,5836	3,8297	-23,4805	3,1310	-12,9425
18	6,3574	-62,5968	3,4462	-31,3133	3,7451	-26,7124	3,0646	-16,1872
19	6,3576	-63,9684	3,4438	-36,2410	3,7620	-24,2768	3,1949	-18,5473
20	6,5754	-73,6045	3,6022	-40,7163	3,8070	-28,5935	3,1915	-19,8045
21	6,5036	-57,9602	3,3051	-24,3165	3,8031	-23,1628	3,0661	-12,5731
22	6,6979	-57,2629	3,4750	-25,4865	3,7353	-19,4473	3,1067	-11,7860
23	6,9391	-66,4596	3,6285	-28,9640	3,8921	-25,9414	3,1823	-14,5014
24	6,4164	-61,5016	3,5877	-35,4875	3,6253	-20,4549	3,1997	-18,2356
25	6,5272	-57,5524	3,5607	-30,2115	3,7650	-22,6302	3,1517	-15,0162
26	6,3763	-59,9388	3,4890	-30,9563	3,7531	-24,9663	3,0288	-9,0604
27	6,4945	-53,4169	3,4943	-26,7504	3,6851	-18,7444	3,1345	-13,3793
28	7,1542	-120,6734	3,8845	-63,3664	3,9628	-42,4612	3,2520	-29,5748
29	6,6704	-65,8944	3,7610	-37,9743	3,7889	-26,1512	3,1990	-17,9816
30	6,7686	-65,6643	3,5310	-30,1281	3,7391	-22,6410	3,1419	-15,3133
31	6,7885	-95,3452	3,7885	-52,6752	3,7343	-31,3461	3,1300	-25,5170
32	6,6420	-68,5726	3,7534	-39,4436	3,7476	-26,2857	3,1203	-19,1054
33	6,6304	-62,3406	3,7084	-34,4646	3,7544	-23,8750	3,2144	-17,0574
34	6,5870	-65,0816	3,6475	-36,0733	3,7828	-24,5999	3,1687	-17,8752
35	6,3906	-76,2047	3,4978	-41,2609	3,7584	-30,1447	3,0569	-20,2134
36	6,4690	-77,9782	3,5656	-41,8547	3,7805	-31,8965	3,0890	-21,7041
37	6,5565	-65,7466	3,5974	-34,2043	3,7596	-26,3043	3,1663	-17,2549
38	6,6501	-65,6687	3,6008	-33,3973	3,8288	-27,0002	3,2130	-16,6876
39	6,7844	-70,5923	3,4938	-30,9188	3,8168	-26,7980	3,1348	-15,3525
40	6,5172	-61,9211	3,5848	-31,7852	3,6934	-23,9701	3,1708	-16,9421
41	6,4926	-69,9003	3,6366	-39,4328	3,7314	-27,6982	3,0676	-19,4044

Continua...

Tabela 3, Cont.

Clone	β_{0_V}	β_{1_V}	β_{0_B}	β_{1_B}	β_{0_Hd}	β_{1_Hd}	β_{0_q}	β_{1_q}
-------	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------	----------------	---------------	---------------

42	6,6674	-64,3922	3,6790	-33,2509	3,7812	-26,0677	3,2037	-17,0331
43	6,4747	-64,1192	3,4874	-32,0051	3,7144	-24,9849	3,0752	-15,9667
44	6,6845	-61,2490	3,4566	-27,7457	3,8869	-23,8582	3,0887	-13,9849
45	6,4957	-64,7253	3,5256	-34,0309	3,7176	-23,7558	3,1492	-17,1348
46	6,4312	-75,3595	3,5437	-41,8987	3,7496	-28,3453	3,0746	-20,4364
47	6,9810	-79,9799	3,6867	-39,4822	3,7642	-26,0639	3,2166	-19,5896
48	6,8897	-73,7991	3,4393	-31,7522	3,8085	-25,0215	3,0990	-15,8321
49	6,8576	-59,2963	3,5855	-24,2618	3,8135	-23,3607	3,1735	-12,6513
50	7,0963	-64,7014	3,7380	-27,9765	3,9190	-26,1594	3,2581	-14,0040
51	6,5934	-61,5143	3,3480	-26,0515	3,8016	-24,0419	3,0556	-13,0477
52	6,9017	-64,2951	3,5645	-29,8259	3,7940	-22,6212	3,1441	-14,5837
53	7,1827	-64,8780	3,8502	-29,6016	3,8909	-24,4980	3,2785	-14,8549
54	7,0291	-61,7935	3,7173	-26,2564	3,9152	-25,5964	3,1849	-13,2588
55	6,6952	-54,9147	3,6767	-31,9203	3,8514	-23,9134	3,2029	-15,1714
56	6,5219	-56,1215	3,5363	-28,1029	3,8415	-23,6774	3,1508	-14,1683
57	6,8412	-66,4402	3,6194	-32,5071	3,8160	-24,0005	3,1799	-16,0327
58	6,6723	-58,3172	3,5970	-28,6460	3,8006	-22,4459	3,1729	-14,1494
59	7,1954	-87,4752	3,6689	-33,5053	4,0026	-35,3162	3,1872	-16,7580
60	6,6819	-58,9382	3,4409	-24,5172	3,8202	-23,1403	3,1156	-12,6486
61	6,4773	-57,6136	3,6289	-34,0442	3,6946	-20,6565	3,1920	-16,9807
62	6,4646	-51,7682	3,5375	-27,4138	3,7220	-20,2781	3,1096	-13,8304
63	6,6511	-73,3382	3,6490	-40,3395	3,8286	-28,4558	3,1839	-19,3717
64	6,5234	-67,8610	3,6315	-38,0844	3,7570	-26,0011	3,1493	-18,1378
65	6,3911	-52,5536	3,4760	-26,2134	3,7165	-22,0214	3,1328	-13,8097
66	7,0662	-88,5641	3,5902	-40,6951	3,8771	-30,4076	3,2162	-20,0503
67	7,0417	-70,6366	3,5284	-31,4085	3,9107	-26,2623	3,1545	-15,8615
68	8,2430	-98,0139	3,7902	-37,6840	3,9318	-27,1211	3,2652	-18,4161
69	6,0903	-54,1055	3,0787	-18,5970	3,7203	-25,1713	3,0782	-15,7916
70	6,4274	-61,1167	3,5238	-32,6174	3,6947	-23,2126	3,0752	-14,9651

Tabela 4 – Agrupamento dos 70 clones de eucalipto, considerando os oito parâmetros analisados

Grupos	Clones																
1	68																
2	28 31																
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	32	33	34	35	36
	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	69	70	

Tabela 5 – Valores dos autovetores dos componentes principais analisados

Parâmetros	Componentes							
	1	2	3	4	5	6	7	8

β_{0_V}	-0,3017	-0,4972	-0,1647	0,6374	-0,0419	-0,0388	0,2080	0,4265
β_{1_V}	0,4287	-0,1441	0,2592	-0,3814	0,1616	-0,1794	0,2879	0,6646
β_{0_B}	-0,3542	-0,1872	0,4785	-0,0434	0,6942	0,1697	0,2057	-0,2358
β_{1_B}	0,3939	-0,3740	-0,1726	-0,0558	-0,1845	0,3610	0,5827	-0,4100
β_{0_Hd}	-0,2748	-0,4409	-0,4539	-0,4909	0,1049	-0,4940	-0,0516	-0,1594
β_{1_Hd}	0,3868	-0,2193	0,3975	0,3510	-0,0438	-0,6162	-0,1295	-0,3503
β_{0_q}	-0,2749	-0,3933	0,5054	-0,2785	-0,5823	0,2063	-0,2324	0,0331
β_{1_q}	0,3793	-0,3999	-0,1659	0,0401	0,3226	0,3754	-0,6470	0,0595

Tabela 6 – Agrupamento dos 70 clones de eucalipto, eliminando o parâmetro β_{1_V}

Grupos	Clones																
1	68																
2	28																
3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	33	34	35
	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	69	70

Com o entendimento de que todos os parâmetros são importantes para o agrupamento, o grupo 3 da Tabela 5 foi submetido a um novo reagrupamento. Com isso foram definidos mais sete novos grupos (Tabela 7), tendo o grupo 10 apresentado o maior número de clones (46). Além dos três clones já agrupados inicialmente, outros 22 foram atribuídos aos grupos de 3 a 9.

Uma vez que a análise de gráficos apontou diferentes tendências de crescimento em altura dominante entre os clones do grupo 10, decidiu-se reagrupar novamente os clones deste grupo. Em consequência, foram formados mais 13 grupos (Tabela 8). Desta forma, os 70 clones foram finalmente agrupados em 25 grupos.

As equações estimadas para os estratos com mais de três medições foram relacionadas (Tabela 9), e indicam coeficientes de correlação superiores a 87%.

Tabela 7 – Reagrupamento dos 77 clones inicialmente pertencentes ao grupo 3 (Tabela 6)

Grupos	Clones								
3	20	32	35	36	41	46	47	63	68

4	3	7											
5	50	53	54	67									
6	10	21	26										
7	59	66											
8	24												
9	69												
		1	2	4	5	6	8	9	11	12	13	14	15
		16	17	18	19	22	23	25	27	29	30	33	34
10		37	38	39	40	42	43	44	45	48	49	51	52
		55	56	57	58	60	61	62	64	65	70		

Tabela 8 – Reagrupamento dos 46 clones de eucalipto, considerando os oito parâmetros analisados

Grupos	Clones												
10	1	4	9	12	14	15	25	58					
11	8	30	52	57									
12	5	6	13	29	33	34	37	38	42	64			
13	2	27	62	65									
14	40	45											
15	16	51	60										
16	17	49											
17	18	43	70										
18	39	48											
19	11	55											
20	56												
21	61												
22	23												
23	19												
24	44												
25	22												

Tabela 9 – Resultado do ajuste do modelo logístico, a partir da estratificação final dos clones em 25 grupos

Estrato	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$r_{\hat{y}y}$
1	36,1642	3,6825	0,0326	0,9544

2	28,0682	12,4064	0,1197	0,8713
3	35,3290	3,1154	0,0368	0,9402
4	35,2815	3,7138	0,0468	0,9528
5	34,2375	6,2016	0,0749	0,9686
6	34,9657	3,0104	0,0447	0,9702
7	36,5625	6,6079	0,0587	0,9659
8	31,6897	2,6274	0,0444	0,9174
9	46,4111	3,9835	0,0300	0,9681
10	33,8308	3,4488	0,0539	0,9320
11	35,3701	3,4422	0,0498	0,9352
12	35,1587	3,5889	0,0475	0,9402
13	37,0422	3,2784	0,0459	0,9129
14	32,4823	3,6431	0,0505	0,9234
15	35,0507	3,9709	0,0563	0,9763
16	35,6909	3,6999	0,0533	0,9851
17	31,7811	4,1867	0,0556	0,9276
18	33,3203	4,8033	0,0622	0,9255
19	36,0607	3,4454	0,0498	0,9457
20	31,3078	6,3101	0,0865	0,9195
21	32,1293	3,3075	0,0559	0,9910
22	37,4587	4,0763	0,0518	0,9837
23	37,2981	2,7236	0,0352	0,9590
24	36,8987	4,2485	0,0597	0,9963
25	35,1094	2,6570	0,0477	0,9955

De posse dos coeficientes da equação, para cada estrato foi estimada a altura dominante com a idade variando de 24 a 96 meses. Observou-se, para maioria dos estratos, crescimento em altura dominante após 96 meses. O estrato 2 tem uma estagnação do crescimento em altura dominante por volta de 60 meses (Figura 1). Todos os estratos apresentaram tendências de crescimento distintas, o que sinaliza a importância da estratificação para se classificar a capacidade produtiva.

Em alguns casos essa estratificação pode ser feita com base em outros atributos, aumentando a precisão, conforme Clutter *et al.* (1983). Alguns clones apresentaram tendência mais suave de crescimento ao longo do tempo, enquanto outros têm crescimento inicial maior, mas chegando à estagnação mais cedo.

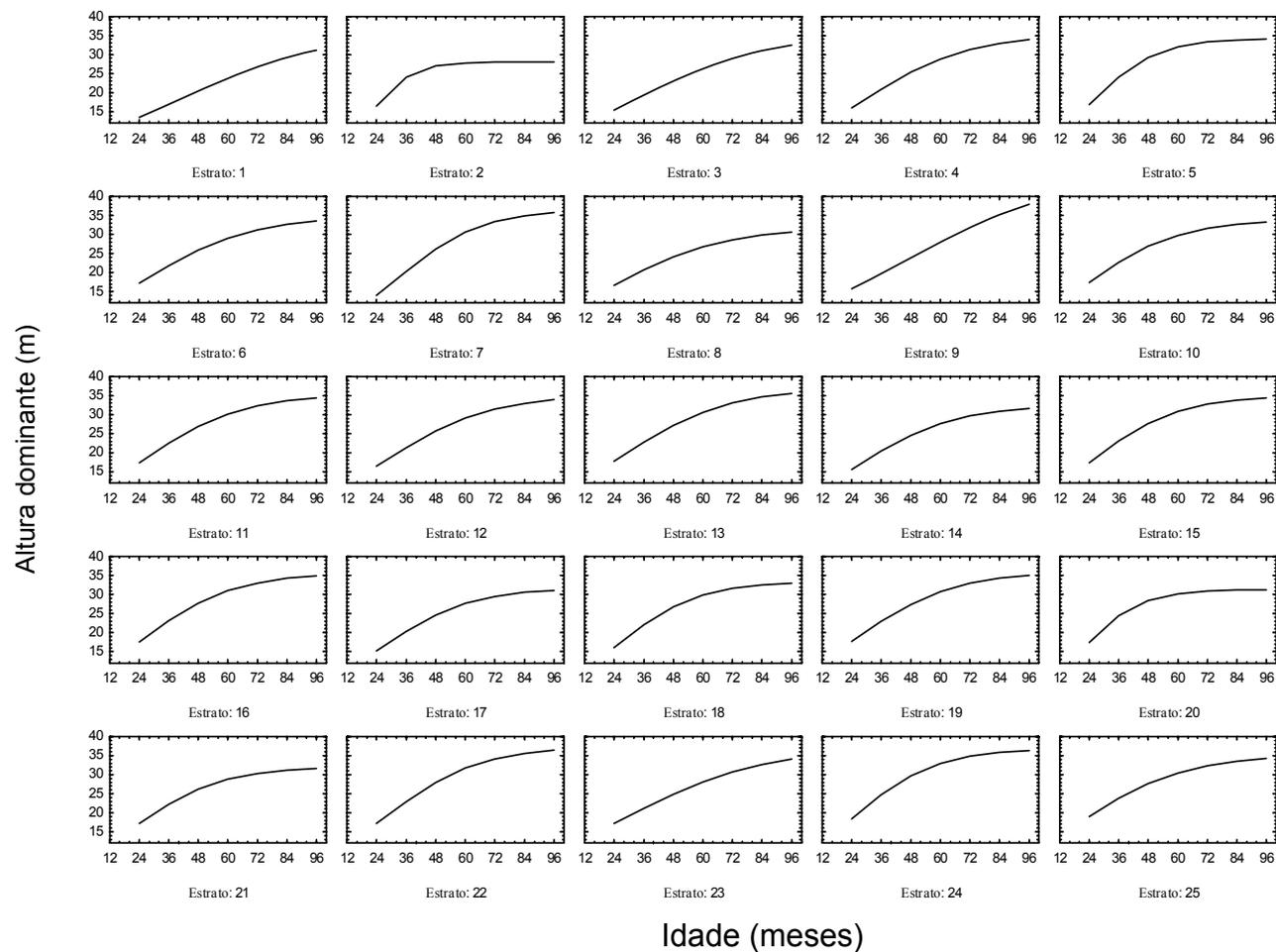


Figura 1 – Tendências de crescimento em altura dominante dos 25 estratos, definidos pelo modelo logístico, em que eixo X = idade, em meses; e Y = altura dominante, em m.

3.2. Procedimento proposto para clones com menos de três medições

Na Tabela 10 estão as médias das variáveis observadas V , B , Hd e q para os clones com menos de três medições (clones 71 a 78) e as estimativas destas variáveis obtidas pelas equações de Schumacher (Tabela 3), para os clones com mais de três medições, para a idade do clone analisado, bem como a distância euclidiana média.

De modo geral, quanto maior a distância euclidiana média, maior a diferenciação entre as variáveis dos clones. Por outro lado, os clones 72 e 29 resultaram em menor diferença entre as variáveis analisadas (Tabela 10).

Tabela 10 – Estimativa média das variáveis V ($m^3 \cdot ha^{-1}$), B ($m^2 \cdot ha^{-1}$), Hd (m), q (cm) para uma mesma idade, utilizando os parâmetros do modelo de Schumacher e distância euclidiana média, em que IGUA = igualdade porcentual entre a variável do clone com uma ou duas medições e o clone com mais de três medições

Estrato	Clone	Idade	V ($m^3 \cdot ha^{-1}$)	B ($m^2 \cdot ha^{-1}$)	Hd (m)	q (cm)	Distância Euclidiana Média
5	71	23	87,29	12,02	16,63	12,74	0,5576
	54		75,82	13,06	16,39	13,54	
	IGUA%		86,86	108,67	98,57	106,25	
12	72	23	47,71	8,31	14,00	11,29	0,1029
	29		45,56	8,31	14,26	11,26	
	IGUA%		95,50	100,10	101,84	99,75	
4	73	26	69,51	8,75	17,75	12,71	0,3110
	3		63,72	9,75	17,62	12,57	
	IGUA%		91,68	111,47	99,29	98,87	
19	74	26	98,51	11,81	18,25	13,28	0,2349
	55		98,13	11,60	18,79	13,74	
	IGUA%		99,61	98,21	102,93	103,46	
3	75	23	32,92	6,77	13,25	10,07	0,1419
	63		32,25	6,69	13,41	10,43	
	IGUA%		97,97	98,88	101,17	103,57	
19	76	23	77,52	10,47	16,25	12,19	0,3008
	55		73,87	9,83	16,60	12,70	
	IGUA%		95,30	93,93	102,16	104,21	
12	77	60	219,49	16,60	31,00	22,05	1,7025
	38		303,24	22,76	31,32	19,59	
	IGUA%		126,59	110,78	115,60	112,72	
1	78	62	278,63	17,45	25,08	14,40	0,6875
	31		188,71	18,79	25,16	15,11	
	IGUA%		67,73	107,66	100,31	104,95	

Com a definição do estrato para os clones com menos de três medições, foi possível estimar o índice de local em qualquer idade, para fins de ajustes de modelos de crescimento e produção.

3.3. Estratificação para fins de estimar de crescimento e produção

Para avaliar a necessidade da estratificação, foi ajustado o modelo de produção de Clutter para oito, dos 25 estratos de índices de local definidos. Foi realizada uma análise prévia, e determinado que apenas para oito estratos era possível ajustar o modelo de Clutter, devido à limitação da frequência de dados, além de ocorrência de uma tendência definida de volume ao longo do tempo. Na Tabela 11 foram relacionadas as equações e estatísticas para cada estrato e para o agrupamento total, composto dos dados dos oito estratos. Observe que foi retirada a variável $\left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right)_S$ na expressão da área basal, por não ser significativa estatisticamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Dias *et al.* (2005), Valdez-Lazalde e Lynch (2000) e Bennet (1970).

Na comparação entre os correspondentes valores observados e estimados para os modelos, observou-se erro médio menor que 5% para os todos os sistemas. A correlação entre os valores observados e estimados, tanto para volume quanto área basal, foram maiores do que 0,80 (Tabela 11).

A estimativa de estoque realizada com a projeção do volume com os dados de 2005 para 2006, utilizando as duas alternativas de avaliação, mostrou que a alternativa 2 apresentou um estoque total mais próximo do estoque observado em 2006 (Tabela 12). As diferenças dos estoques estimados em relação ao observado em 2006 foram de -8,32% e -6,62%, respectivamente, para as alternativas 1 e 2.

A Figura 2 ilustra as estimativas de incremento médio anual aos 7 anos (*IMA7*), realizadas a partir dos dados de 2006, última medição do inventário florestal contínuo. Foi observado que na maioria dos estratos o *IMA7* foi semelhante entre eles; a maior diferença ocorreu no estrato 11. Os

Tabela 11 – Estratos de índice de local, equação ajustada do modelo de Clutter e coeficientes estatísticos para os dados

Estrato	Equações e Coeficientes Estatísticos
3	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 1,619595 - 16,827190 / I_2 + 0,012602 S + 1,229073 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(23,39333) (-19,5162) (14,2619) (58,6616) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,96$ $r_{yy} = 0,96$ $\bar{e}\% = 0,0269$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,645130 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(424,7774) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,95$ $\bar{e}\% = -0,0039$</p>
10	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 1,802969 - 18,276780 / I_2 + 0,013046S + 1,197233 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(34,3283) (-35,8505) (25,7231) (75,6427) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,96$ $r_{yy} = 0,96$ $\bar{e}\% = -0,0830$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,554240 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(33,8101) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,91$ $\bar{e}\% = -0,1578$</p>
11	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 0,615441 - 11,906190 / I_2 + 0,013352S + 1,602747 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(10,8155) (-2,9364) (3,8608) (13,9355) estatística t (0,000) (0,003) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,95$ $r_{yy} = 0,95$ $\bar{e}\% = 0,0902$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,535802 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(295,7468) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,89$ $\bar{e}\% = -0,1113$</p>
12	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 2,091604 - 23,639670 / I_2 + 0,016390 S + 1,080649 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(56,5041) (-57,2677) (45,5240) (103,3927) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,95$ $r_{yy} = 0,94$ $\bar{e}\% = -0,0123$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,699858 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(120,790) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,93$ $\bar{e}\% = -0,0110$</p>

Continua...

Tabela 11, Cont.

Estrato	Equações e Coeficientes Estatísticos
13	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 1,272734 - 17,94524 / I_2 + 0,016857 S + 1,335592 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(6,0595) (-7,6732) (8,2357) (19,5590) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,93$ $r_{\hat{y}y} = 0,93$ $\bar{e}\% = -0,1584$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,491133 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(219,156) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,84$ $\bar{e}\% = -0,2891$</p>
14	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 2,317664 - 32,65088 / I_2 + 0,015732 S + 1,065577 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(8,8941) (-13,0732) (7,0279) (14,0325) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,95$ $r_{\hat{y}y} = 0,96$ $\bar{e}\% = 0,1207$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,589798 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(165,8117) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,89$ $\bar{e}\% = 0,1689$</p>
17	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 1,457337 - 20,78508 / I_2 + 0,018171 S + 1,27392 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(9,7666) (-14,3541) (13,4502) (25,3442) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,95$ $r_{\hat{y}y} = 0,95$ $\bar{e}\% = -0,1354$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,568525 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(165,8117) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,86$ $\bar{e}\% = 0,1791$</p>
19	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 2,122243 - 24,74528 / I_2 + 0,014598 S + 1,100748 \text{Ln}B_2$ <p style="text-align: center;">(17,6545) (-18,1155) (13,8468) (30,8148) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,95$ $r_{\hat{y}y} = 0,95$ $\bar{e}\% = -0,0063$</p> $\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,656557 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$ <p style="text-align: center;">(371,9982) estatística t (0,000) p – valor</p> <p>$R^2 = 0,90$ $\bar{e}\% = -0,069$</p>

Continua...

Tabela 11, Cont.

Estrato	Equações e Coeficientes Estatísticos
Agrupamento Geral	$\text{Ln}\hat{V}_2 = 1,904706 - 20,57623 / I_2 + 0,017744 S + 1,118232 \text{Ln}B_2$
	(68,1392) (-64,8233) (60,9459) (33,8226) estatística t (0,000) (0,000) (0,000) (0,000) p – valor
	$R^2 = 0,94 \quad r_{yy} = 0,94 \quad \bar{e}\% = -0,0096$
	$\text{Ln}\hat{B}_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,62897 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right)$
	(217,30) estatística t (0,000) p – valor
	$R^2 = 0,93 \quad \bar{e}\% = -0,0650$

Tabela 12 – Estoque observado de volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) e área (ha) em 2006 e projeções das estimativas de estoque volumétrico de 2005 para 2006, utilizando as duas alternativas (modelo de Clutter sem estratificar e modelo de Clutter com a estratificação para fins de índice de local)

Estrato Site	Área Total	Estoque de Volume Observado	Estoque de Volume Estimado - Alternativa 1	Estoque de Volume Estimado - Alternativa 2
3	1.062,92	20.033,93	17.453,84	16.407,79
10	23.693,97	264.700,03	244.124,90	250.504,65
11	4.997,48	70.491,97	49.269,62	59.358,50
12	26.130,84	311.314,99	296.279,94	291.592,12
13	3.356,04	32.023,63	30.416,06	31.635,40
14	363,85	6.430,83	5.546,45	5.800,89
17	1.395,31	23.201,08	21.167,88	22.447,67
19	3.918,37	49.198,37	48.475,56	48.204,67
Total	64.918,78	777.394,83	712.734,25 (8,32%)	725.951,69 (6,62%)

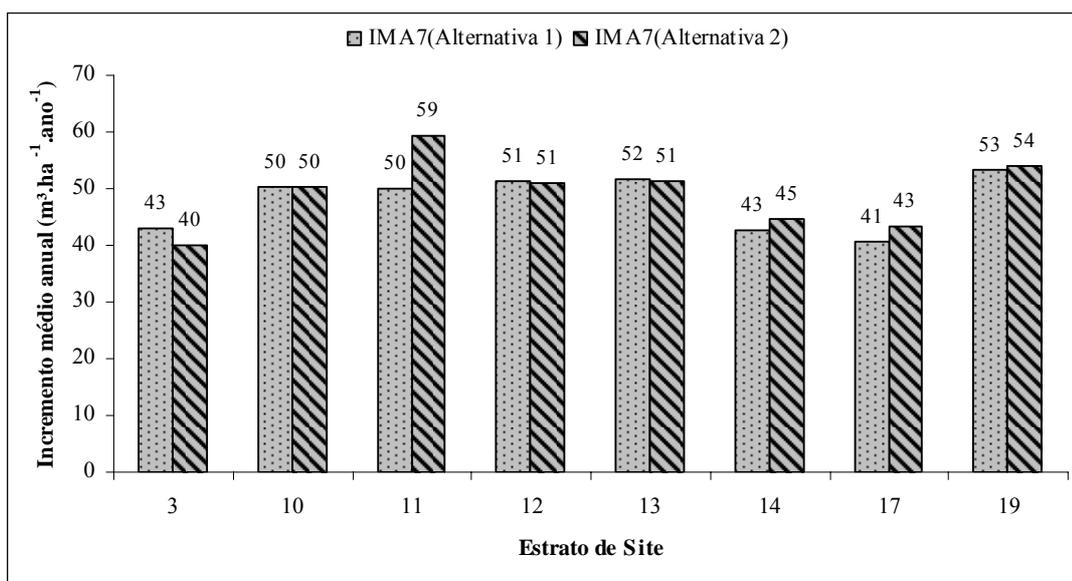
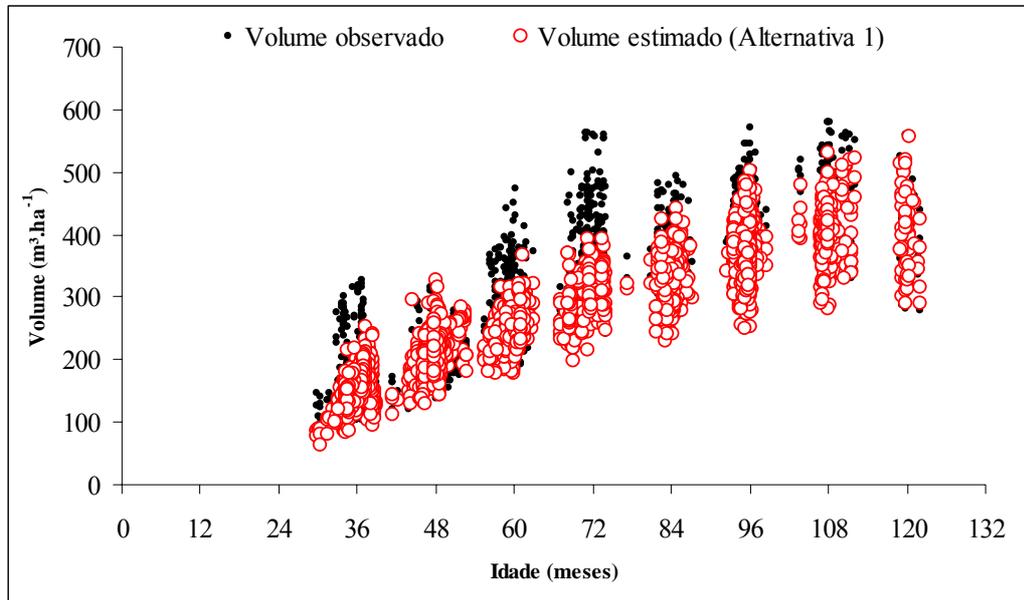


Figura 2 – Incremento médio anual em volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) para a idade de 7 anos, a partir dos dados de 2006, para as duas alternativas de avaliação.

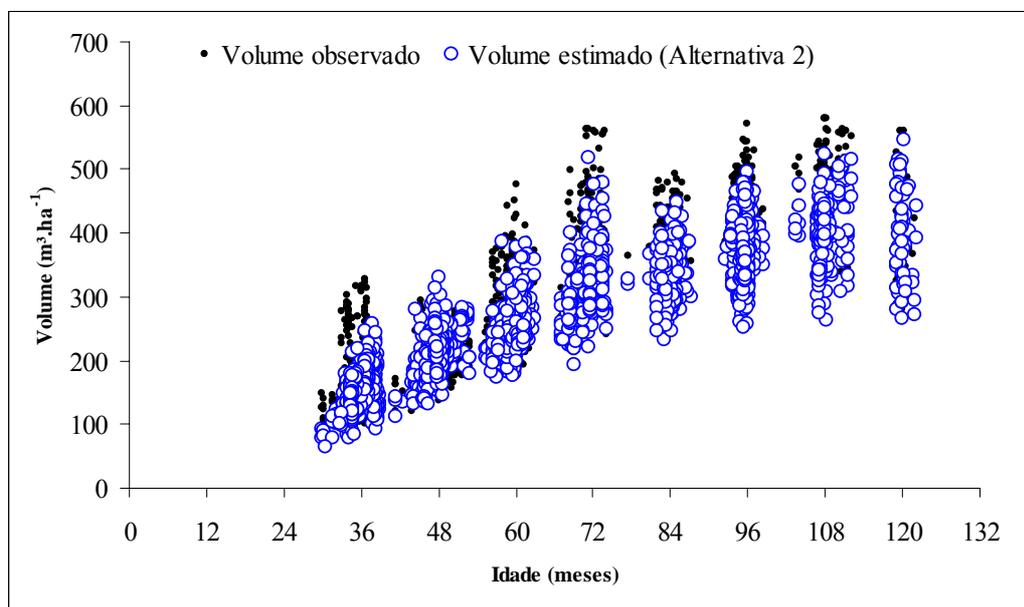
estratos 10 e 12 foram iguais, ocupando estes as maiores áreas (Tabela 12). Esta expectativa de *IMA7* é importante em todos os níveis de planejamento da maioria das empresas florestais. Cabe observar que a diferença de 10% no *IMA7* pode resultar em sérios equívocos. Por exemplo, em uma expectativa de $\text{IMA7} = 50 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, mas observando $45 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, constata-se um déficit de área de corte anual de 1.587,3 ha para o atendimento de uma demanda de 5.000.000 m^3 , para uma indústria de celulose.

As estimativas de volume projetadas de 2005 para 2006 foram semelhantes na maioria das idades, nas duas alternativas de projeção. A exceção foi o intervalo de idade de 50 e 80 meses, o que pode gerar um problema ao planejar o corte, já que a rotação é por volta de 72 meses.

A alternativa 2 apresentou semelhança com os dados observados, quando comparada com a alternativa 1, para o intervalo de 50 a 80 meses (Figura 3), o que significa que a estratificação de capacidade produtiva é importante para estimativas de crescimento e produção.



(A)



(B)

Figura 3 – Volume observado ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) em 2006 e estimativas de volume de 2005 para 2006, utilizando a alternativa 1 (A) e a alternativa 2 (B).

Vanclay *et al.* (1995) relataram que na dúvida sobre a eficiência da estimativa de índice de local é prudente estratificar a floresta, utilizando de

algum fator, como a topografia, a geologia, o nível de produção e a própria produção volumétrica.

Muitas vezes alguns estratos têm comportamentos semelhantes, podendo, portanto, ser agrupados (Figura 4). Entretanto, melhor resultado foi obtido com a estratificação proposta. Nessa figura, supõe-se que um único feixe pode ser usado para alguns estratos, porém com algum prejuízo em termos de precisão. Esse prejuízo só é quantificado ao ajustar e aplicar modelos de crescimento e produção (Tabela 11 e Figura 4).

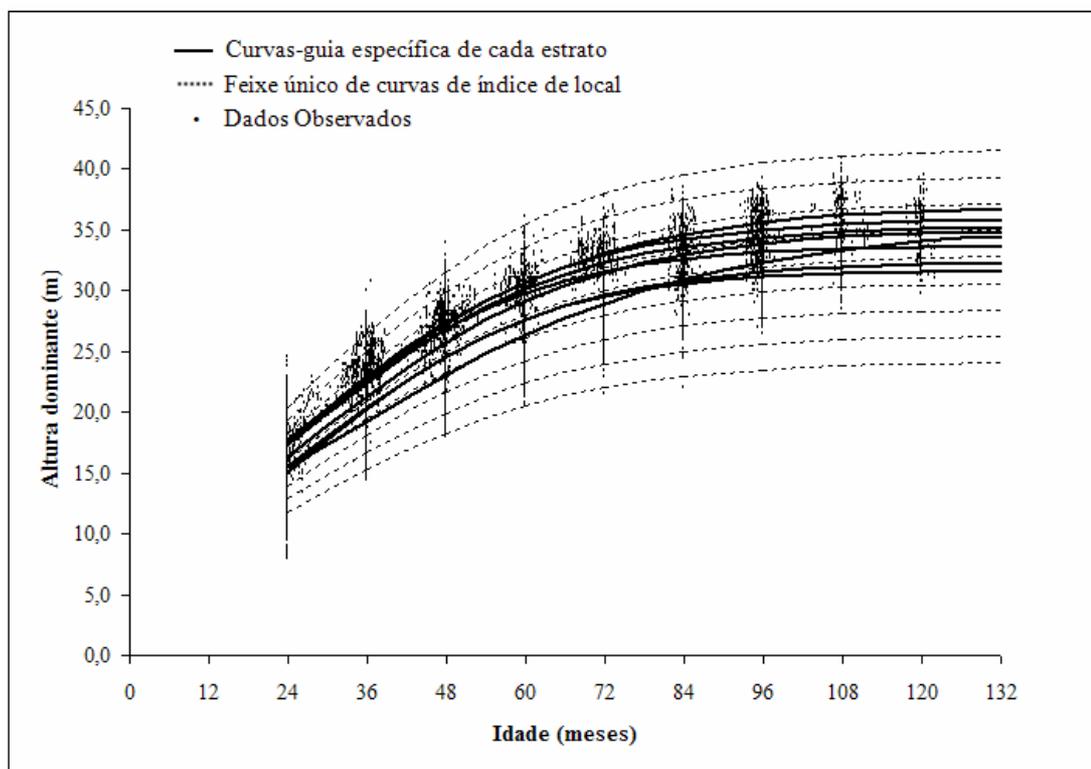


Figura 4 – Dados observados de altura dominante, em m, curvas-guia específicas de cada um dos oito estratos e feixe único de curvas de índice de local, utilizando uma expressão única.

4. CONCLUSÕES

As florestas de clones de eucalipto devem ser estratificadas para construção de curvas de índice de local.

O procedimento proposto neste estudo para estratificar florestais clonais de eucalipto, para fins de construção de curvas de índices de local, é eficiente, agrupando clones com tendências semelhantes de crescimento em altura dominante.

A estratificação realizada por meio do procedimento proposto resulta em estimativas de volume mais precisas próximo à idade de corte.

A estimativa de índice de local para clones que possuem menos de três medições pode ser determinada a partir das informações de altura dominante, diâmetro médio, área basal e volume, obtidas no inventário florestal contínuo de outros clones.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUER, M.A.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, J.A.A.; SANTOS E.S.; STOSIC, B.; SOUZA, A.L. Estabilidade em análise de agrupamento: estudo de caso em ciência florestal. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 257-265, 2006.

BATHO, A.; GARCIA, O. **De perthuis and the origins of site index: A historical note**. University of Northern British Columbia. FBMS, v. 1, 2006, p. 1-10.

BENNET, F.A. Variable-density yield tables for managed stands of natural slash pine. USDA, **Forestry Service**, 1970. 7 p. (Research note – SE-141).

BULL, H. The use of polymorphic curves in determining site quality in young red pine plantations. **Journal of Agricultural Research**, v. 43, p. 1-29, 1931.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 470 p.

CHAPMAN, H. H., R. T. FISHER, C. D. HOWE, D. BRUCE, E.N. MUNNS, W.N. SPARHAWK, CHAIRMAN. Classification of forest sites. **Journal of Forestry**, v. 21, p. 139-147, 1923.

CLUTTER, J.L. Compatible growth and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.

CLUTTER, J.L. FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, R.G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management: a quantitative approach**. New York, John Willey e Sons, 1983. 333 p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV. Volume 1, 2004. 480 p.

CURTIS, R.O.; MARSHALL, D.D. **Permanent-plot procedures for silvicultural and yield research**. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2005. 86 p.

DAVIS, L.S.; JOHNSON, K. M. **Forest management**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 790 p.

DIAS, A.N.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; COUTO, L.; CARVALHO, F.C. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 731-739, 2005.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley e Sons, 3rd ed., 1998. 706 p.

FREITAS, R.T.F. **Estudo da divergência genética de suínos em cruzamentos, utilizando-se técnica de análise multivariada**. 1996. 152 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

GARCIA, S.L.R. **Importância de características de crescimento de qualidade da Madeira e da polpa na diversidade genética de clones de eucalipto**. 1998. 103 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

GARCIA, S.L.R.; LEITE, H.G. **Curso de estatística florestal**. Viçosa-MG: Faculdade de Viçosa. 2006. 401 p. (apostila).

HEGER, L. Effect of Index Age on the Precision of Site Index. **Canadian Journal of Forest Research**, n. 3, p. 1-6, 1973.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. **Multivariate analysis**. London: Academic Press, 1979. 521 p.

MARTINS, S.V.; SILVIA, N.R.S.; SOUZA, A.L.; MEIRA NETO, J.A.A. Distribuição de espécies arbóreas em um gradiente topográfico de Floresta Estacional Semidecidual em Viçosa-MG. **Scientia Forestalis**, n. 64, p. 172-81, 2003.

NEWBERRY, J.D., PIENAAR, L.V. **Dominant height growth models and site index curves for site-prepared slash Pine plantations in the lower coastal plain of Georgia and north Florida**. Athens, Georgia: School of Forest Resources University of Georgia, 1978. 47 p. (Research Paper, 4).

PIASSI, M. **Avaliação do desempenho de linhagens de postura mantidas na Universidade Federal de Viçosa, em competição com marcas comerciais**. 1994. 86 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

ROTH, F. Concerning Site. **Forestry Quarterly**, v. XX, p. 3-13, 1916.

SANTOS, J.H.S.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, J.A.A.; SOUZA, A.L.; SANTOS, E.S. Distinção de grupos ecológicos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. **Revista Árvore**, v. 28, n. 3, p. 387-396, 2004.

SANTOS, G.A.; XAVIER, A.; LEITE, H.G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Revista Árvore**, v. 30, n. 5, p. 737-747, 2006.

SCHUMACHER, F.X. A new growth curve and its application to timber studies. **Journal of Forestry**, v. 37, p. 819-820, 1939.

SOUZA, A.L.; FERREIRA, R.L.C.; XAVIER, A. **Análise de agrupamento aplicada à ciência florestal**. Viçosa-MG: SIF. 1997. 109 p. (Documento SIF, 16).

TONINI, H.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e Serra do sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 61-77, 2004.

VALDEZ-LAZALDE, J.R.; LYNCH, T.B. Merchantable and total volume equations for thinned stands of Patula Pine in Puebla, México. **Agrociência**, v. 34, n. 6, p. 747-758, 2000.

VANCLAY, J.K.; SKOVSGAARDB, J.P.; PILEGAARD HANSEN, C. Assessing the quality of permanent sample plot databases for growth modelling in forest plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 71, p. 177-185, 1995.

WATSON, R. Site Determination, classification, and application. **Journal of Forestry**, v. 15, p. 552-563, 1917.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM E PROGNÓSE EM POVOAMENTOS NÃO-DESBASTADOS DE CLONES DE EUCALIPTO

1. INTRODUÇÃO

A modelagem de crescimento e produção de povoamentos de eucalipto teve início efetivo no Brasil na década de 1980. Uma das principais contribuições foi a primeira tese de mestrado na área de mensuração florestal defendida no Brasil, em 1985, por Trevizol Junior. Naquela ocasião foi construído um modelo de crescimento e produção para plantações de *Eucalyptus grandis*. Esse modelo foi construído a partir das relações funcionais e fundamentação teórica encontradas em Clutter (1963), dentre outros, sendo utilizados dados de parcelas permanentes de povoamentos localizados na região de Bom Despacho, Minas Gerais. A partir daí, vários modelos foram construídos para diferentes espécies de *Eucalyptus* e de *Pinus*, em diferentes regiões do País.

Em anos seguintes, vários autores, trabalhando com diferentes espécies de eucalipto originários de plantios de semente, construíram modelos do tipo povoamento total, podendo citar Souza (1988), Pece De Rios (1993), Rosas (1994) e Soares (1999), enquanto modelos do tipo distribuição diamétrica foram ajustados por Leite (1990), Guimarães (1994),

e Nogueira (2005), tendo este último autor trabalhado com dados de clones de eucalipto.

A maioria dos modelos de crescimento e produção ajustados a partir da década de 1980, até 2007, foram modelos compatíveis, do tipo povoamento total e de densidade variável. Os modelos compatíveis baseiam-se na premissa de que existe uma relação de derivação-integração entre as funções de crescimento e funções de produção para área basal e para volume do povoamento (SULLIVAN e CLUTTER, 1972).

Conforme Avery e Burkhart (1994), as decisões de manejo florestal são baseadas em informações sobre condições de recursos atuais e futuros. Os inventários florestais fornecem informações, em um instante no tempo, sobre volume e estatísticas relacionadas. Sendo as florestas sistemas biológicos dinâmicos que estão continuamente mudando, os modelos de crescimento e produção são necessários para projetar estas mudanças e obter informações relevantes para auxiliar na tomada de decisão. Essa dinâmica é ainda maior no caso de povoamentos de clones de eucalipto. A cada ano novos clones são lançados em escala comercial, enquanto outros são excluídos da lista de clones da empresa. Isto resulta em dificuldades na modelagem, uma vez que dados passados em determinados momentos têm de ser descartados em decorrência de uma nova realidade (novos pacotes tecnológicos).

Apesar do expressivo avanço nos estudos de modelagem do crescimento e da produção de povoamentos florestais no Brasil, existem poucos modelos desenvolvidos para povoamentos de clones de eucalipto.

Uma metodologia para construir um modelo de crescimento e produção envolve a definição do problema, a obtenção dos dados, a construção do modelo matemático, a aplicação de testes de validação do modelo e a sua aplicação. No caso de povoamentos de clones, pelos motivos mencionados, a obtenção dos dados, a construção do modelo e sua aplicação ainda não são triviais.

Diante dessas considerações e do significativo aumento de plantios de clones de eucalipto no Brasil, foi proposto este estudo com os seguintes objetivos: desenvolver e propor um procedimento para modelagem do crescimento e da produção. As hipóteses formuladas foram:

Ho(1): florestas de clones de eucalipto não precisam ser estratificadas para fins de modelagem do crescimento e produção *versus* Ha(1): não Ho(1); e

Ho(2): estimativas de produção devem ser feita por um modelo com mais variáveis, em vez de um modelo mais simples com menos variáveis *versus* Ha(2): não Ho(2).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram provenientes de parcelas permanentes de inventários florestais contínuos realizados entre 1996 e 2006, em povoamentos de clones de eucalipto, no Estado da Bahia, compreendendo cerca de 70.000 ha de floresta.

Foram utilizados dados de 37 clones, distribuídos em 4.325 parcelas permanentes, cada clone contendo pelo menos três medições com periodicidade anual. A numeração dos clones foi alterada para este trabalho. O número de dados para cada clone variou pela quantidade de parcelas medidas e pela idade (Tabela 1). Para alguns clones, apesar de existirem em apenas poucas parcelas, já existiam informações suficientes para definir uma tendência de crescimento em volume.

Em todas as parcelas mensuradas, em todos os anos, foram determinados: a altura total média das árvores dominantes (Hd), a área basal (B), o diâmetro médio (q) e o volume comercial com casca (V). A área basal e o volume foram extrapolados para hectare. Os dados foram submetidos a uma criteriosa consistência, seguindo algumas recomendações encontradas em Curtis e Marshall (2005) e Campos e Leite (2006). Alguns dados de parcelas foram eliminados, por se tratar de *outliers*

Tabela 1 – Idade mínima e máxima e número de parcelas mensuradas por clone

Clone	Idade (mês)		Número de Parcelas	Clone	Idade (mês)		Número de Parcelas
	Mínima	Máxima			Mínima	Máxima	

1	24,0	85,5	26	20	24,0	130,4	178
2	24,0	73,4	204	21	24,0	122,1	20
3	24,0	83,7	181	22	36,0	119,4	3
4	21,3	85,1	399	23	24,0	95,3	6
5	24,0	84,5	10	24	24,0	95,9	26
6	24,0	84,5	164	25	24,0	147,1	86
7	17,9	97,3	341	26	24,0	134,0	115
8	22,4	121,2	257	27	24,0	96,2	24
9	24,0	96,2	171	28	24,0	133,9	32
10	24,0	122,1	228	29	24,0	77,3	40
11	17,7	85,5	405	30	24,0	59,9	42
12	24,0	108,1	8	31	24,0	74,1	60
13	24,0	109,0	7	32	21,4	62,9	98
14	24,0	84,6	4	33	24,0	61,1	11
15	24,0	96,2	23	34	24,0	96,0	6
16	17,9	147,4	610	35	24,0	120,4	14
17	24,0	145,1	27	36	24,0	51,3	48
18	24,0	147,1	58	37	24,0	120,0	23
19	24,0	121,9	370				
Total							4.325

(DRAPER e SMITH, 1998), enquanto outros foram eliminados para compatibilizar a frequência de parcelas permanentes, seguindo as condições encontradas no povoamento, e assim obter tendências consistentes para fins de modelagem.

2.2. Modelagem do crescimento e da produção

A estratificação para fins de ajuste de modelos de crescimento e produção foi a mesma definida para classificação da capacidade produtiva e proposta no Capítulo 2 desta tese, que pode ser resumido da seguinte forma: para cada clone foi ajustado o modelo de Schumacher (1939) $\text{Ln}Y = \beta_0 + \beta_1 t^{-1} + \varepsilon$, para as variáveis dependentes: área basal (B), altura dominante (Hd), diâmetro médio (q) e volume comercial com casca (V) em função da idade em meses. Com os oito parâmetros estimados para todos os clones, o próximo passo foi procurar estratificá-los, realizando uma análise de agrupamento pelo método de Tocher (GARCIA e LEITE, 2006).

Esse agrupamento foi realizado sucessivamente, até alcançar um número de estratos que agrupasse todos os clones com a mesma tendência de crescimento em altura dominante. Para comprovações desses estratos, foram utilizados os recursos disponíveis no sistema *SifProg* 4.4.

Para cada um dos estratos, o método da curva-guia foi utilizado para determinação dos índices de local (CLUTTER *et al.*, 1983), tendo sido utilizado modelo logístico, conforme Draper e Smith (1998):

$$Hd = \beta_0 \left(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 l}\right)^{-1} \varepsilon \quad (1)$$

em que

Hd = altura dominante, em m;

β_0, β_1 e β_2 = parâmetros da regressão;

l = idade, em meses; e

ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

2.3. Modelagem volumétrica e análises para clones com mais de três medições

Para estimar o crescimento e a produção, foram avaliadas cinco alternativas. A primeira (alternativa 1) foi o ajuste do modelo de Clutter (1963), conforme apresentado a seguir:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ln}B_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{l_1}{l_2}\right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) + \alpha_2 \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right) S + \varepsilon \\ \text{Ln}V_2 = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{l_2} + \beta_2 S + \beta_3 \text{Ln}B_2 + \varepsilon \end{array} \right. \quad (2)$$

em que

l_1 = idade atual, em meses;

l_2 = idade futura, em meses;

B_1 = área basal na idade l_1 , em $m^2 \cdot ha^{-1}$;

B_2 = área basal na idade I_2 , em $m^2 \cdot ha^{-1}$;
 S = índice de local, em m;
 V_2 = volume em $m^3 \cdot ha^{-1}$;
 Ln = logaritmo neperiano;
 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \alpha_1$ e α_2 = parâmetros do modelo; e
 ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

Essas relações funcionais foram originalmente estabelecidas para *Pinus taeda* por Clutter (1963) e vem sendo utilizadas com frequência para modelagem de povoamentos não-desbastados de eucalipto e pinus (CAMPOS e LEITE, 2006). A relação funcional original proposta pelo autor, para volume, é:

$$LnV = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 (LnB) + \beta_3 \frac{1}{I} + \beta_4 S(LnB) + \beta_5 S \frac{1}{I} + \beta_6 \frac{1}{I} (LnB) + \varepsilon \quad (4)$$

Para a alternativa 1 foram considerados os 37 clones como um único estrato. O método de ajuste do modelo foi o método de mínimos quadrados em dois estágios.

A segunda alternativa (alternativa 2) consistiu no ajuste do modelo de Clutter, porém com a transformação da expressão da área basal, com o objetivo de compatibilizar o volume observado e o estimado na última medição do inventário florestal contínuo. Para que as estimativas das equações ajustadas passassem pelos valores de volumes observados por ocasião do último inventário, foi definida a seguinte expressão de área basal compatível:

$$B_1 = \text{Exp}(\hat{\beta}_3^{-1} LnV_1 - \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 I_1^{-1} + \hat{\beta}_2 S_1) \quad (5)$$

em que V_1 , S_1 e I_1 são respectivamente o volume, o índice de local e a idade observados na idade atual (*input* para prognose), B_1 é a área basal compatível com V_1 , S_1 e I_1 , e $\hat{\beta}_i$ são as estimativas obtidas ao ajustar o modelo 3.

Dessa forma, utilizando o valor de LnV observado, obtido do último inventário, foi possível encontrar a área basal compatível com a estimativa desse volume, contemplando o modelo de crescimento e produção.

A terceira alternativa (alternativa 3) constitui o ajuste do modelo do volume em função apenas da idade, ou seja, um modelo de predição. Após algumas análises preliminares com um conjunto de modelos sigmoidais, dentre eles as funções logística, Gompertz, MMF (MORGAN *et al.*, 1975), Chapman-Richards e Weibul, o modelo logístico foi escolhido e ajustado aos dados de cada estrato, utilizando procedimentos de regressão não-linear, via processos iterativos, por meio do método Levenberg-Marquardt; o *software* para estes ajustes foi o sistema *SifProg* 4.4. Um dos grandes inconvenientes nesse tipo de modelo é o fato de estimar, para uma mesma idade, o mesmo volume, o que causa inconsistência para fins de regulação da produção, já que para talhões da mesma idade a produção é a mesma, independentemente da última medição de inventário. Isto implica muitas unidades de manejo com a mesma expectativa de produção na idade de rotação regulatória e conseqüente limitação no modelo de regulação florestal. Então, foi considerada a aplicação de um coeficiente para fazer com que a equação ajustada passasse pelos valores de volumes observados por ocasião do último inventário. Este coeficiente foi calculado por meio da relação entre o volume observado na última medição e a sua estimativa obtida pela equação do estrato, para cada unidade de prognose ou de manejo. Portanto, todas as estimativas feitas para esta unidade ao longo do tempo foram multiplicadas por este coeficiente. Os volumes estimados em uma idade i foram obtidos por $\hat{V}_i = \hat{V}_i V_{ui} \hat{V}_{ui}^{-1}$, sendo u a idade no último inventário.

A quarta alternativa (alternativa 4) foi a transformação de um modelo de predição em um modelo de projeção, e o posterior ajuste deste modelo por estrato de modelagem, utilizando procedimentos de regressão não-linear. O modelo determinado foi o logístico, ficando definida a seguinte relação funcional:

$$V_2 = V_1 + \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I_2}} - \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I_1}} + \varepsilon \quad (6)$$

em que

- I_1 = idade atual, em meses;
- I_2 = idade futura, em meses;
- V_1 = volume na idade I_1 , em $m^3 \cdot ha^{-1}$;
- V_2 = volume na idade I_2 , em $m^3 \cdot ha^{-1}$;
- β_0, β_1 e β_2 = parâmetros do modelo; e
- ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

O modelo 6 foi ajustado por dados de cada estrato, utilizando o algoritmo Quasi-Newton disponível no *software* Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

A quinta alternativa (alternativa 5) foi o ajuste de um modelo do volume em função da idade e do índice de local para cada estrato de modelagem, utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários. Foi ajustado o modelo sugerido em Campos e Leite (2006), da forma:

$$\ln V = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} S^{-1} + \varepsilon \quad (7)$$

em que

- I = idade, em meses;
- S = índice de local, em m;
- V = volume em m^3/ha^{-1} ;
- \ln = logaritmo neperiano;
- β_0 e β_1 = parâmetros do modelo; e
- ε = erro aleatório, sendo $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$.

As análises das alternativas apresentadas foram avaliadas, utilizando-se tabelas e gráficos gerados com a aplicação do modelo.

2.4. Modelagem volumétrica e análises para clones com menos de três medições

Após definida qual a melhor alternativa para realizar a prognose dos clones de eucalipto, foram analisadas as situações dos clones com menos de três medições, ou seja, foi estudado o problema da prognose para clones ou estratos com dados insuficientes para modelagem.

Para permitir comparações entre valores observados e estimados de volume, foram sorteados alguns clones entre os 37 e considerados ora como tendo uma medição, ora como tendo duas medições.

Inicialmente foi ajustado o modelo logístico para cada um dos 37 clones estudados, resultando em 37 equações de predição. Para os clones com apenas uma medição, foi utilizada a informação de volume do inventário e calculado o incremento médio anual (*IMA*) para a idade correspondente. A partir das equações de predição dos 37 clones comerciais foi possível estimar o volume e, conseqüentemente, o incremento médio anual para a idade dos clones com uma medição (clones novos), ou seja, foram obtidas 37 estimativas de *IMA* para os clones comerciais, para a idade do clone novo. Diante disso, aquele clone que apresentasse a menor diferença de *IMA*, quando comparado com o clone novo, era considerado o mais similar. Para fazer a prognose foi usado o modelo de crescimento e produção definido para o estrato de modelagem do respectivo clone comercial.

Para os clones que tinham duas medições foi utilizada a informação da segunda medição de inventário, ou seja, a medição mais recente, tendo sido utilizado o mesmo procedimento para os clones com uma só medição.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Estratificação para fins de modelagem do crescimento e da produção

As estimativas dos parâmetros do modelo de Schumacher, $\text{Ln}Y = \beta_0 + \beta_1 l^{-1} + \varepsilon$, obtidos para cada clone e para cada variável mensurada, constam na Tabela 2.

Com os dados da Tabela 2 foram efetuadas sucessivas análises de agrupamento pelo método de Tocher, com base na distância euclidiana média, tendo sido definidos 15 estratos (Tabela 3). Nessa mesma tabela constam as equações estimadas a partir da função logística, com $Y = Hd$, visando estimar índices de local em cada estrato, considerando uma idade índice de 72 meses.

Muitas vezes alguns estratos têm comportamentos semelhantes, não havendo, portanto, necessidade de agrupamento para construção de curvas de índice de local (Figura 1). Porém, o melhor resultado foi obtido com a estratificação. Nessa figura o uso de um único feixe para representar todos os clones poderia resultar em prejuízo para estimativas de produção. Entretanto, para fins de mapeamento da capacidade produtiva, em alguns casos, um único feixe de curvas de índices de local pode ser construído e utilizado, conforme apontamentos de Campos e Leite (2006).

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros do modelo de Schumacher obtidos para cada clone e cada variável mensurada

Clone	$Y = V \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$		$Y = B \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$		$Y = Hd \text{ (m)}$		$Y = q \text{ (cm)}$	
	β_{0_V}	β_{1_V}	β_{0_B}	β_{1_B}	β_{0_Hd}	β_{1_Hd}	β_{0_q}	β_{1_q}
1	6,72	-60,88	3,60	-29,34	3,73	-21,44	2,85	-14,82
2	6,40	-52,62	3,48	-28,03	3,76	-21,97	2,70	-14,04
3	6,55	-59,71	3,54	-29,86	3,72	-21,08	2,66	-14,61
4	6,64	-65,80	3,59	-34,56	3,82	-25,29	2,67	-17,08
5	6,68	-63,36	3,62	-32,70	3,83	-25,14	2,77	-16,64
6	6,87	-62,78	3,58	-30,76	3,77	-22,50	2,69	-15,17

7	6,57	-55,27	3,68	-31,99	3,78	-22,18	2,81	-16,12
8	6,56	-58,99	3,64	-33,79	3,78	-22,64	2,82	-16,62
9	6,57	-62,72	3,62	-35,03	3,80	-24,88	2,74	-17,81
10	6,46	-53,09	3,58	-31,92	3,74	-20,73	2,78	-15,42
11	6,58	-58,82	3,55	-31,18	3,76	-22,64	2,70	-15,29
12	6,36	-63,97	3,44	-36,24	3,76	-24,28	2,84	-18,55
13	6,58	-73,60	3,60	-40,72	3,81	-28,59	2,82	-19,80
14	6,42	-61,50	3,59	-35,49	3,63	-20,45	2,80	-18,24
15	6,53	-57,55	3,56	-30,21	3,77	-22,63	2,83	-15,02
16	6,67	-65,89	3,76	-37,97	3,79	-26,15	2,84	-17,98
17	6,79	-95,35	3,79	-52,68	3,73	-31,35	2,68	-25,52
18	6,64	-68,57	3,75	-39,44	3,75	-26,29	2,78	-19,11
19	6,63	-62,34	3,71	-34,46	3,75	-23,87	2,86	-17,06
20	6,59	-65,08	3,65	-36,07	3,78	-24,60	2,80	-17,88
21	6,39	-76,20	3,50	-41,26	3,76	-30,14	2,69	-20,21
22	6,47	-77,98	3,57	-41,85	3,78	-31,90	2,76	-21,70
23	6,56	-65,75	3,60	-34,20	3,76	-26,30	2,80	-17,25
24	6,52	-61,92	3,58	-31,79	3,69	-23,97	2,79	-16,94
25	6,49	-69,90	3,64	-39,43	3,73	-27,70	2,74	-19,40
26	6,47	-64,12	3,49	-32,01	3,71	-24,98	2,75	-15,97
27	6,50	-64,73	3,53	-34,03	3,72	-23,76	2,76	-17,13
28	6,43	-75,36	3,54	-41,90	3,75	-28,35	2,72	-20,44
29	6,98	-79,98	3,69	-39,48	3,76	-26,06	2,70	-19,59
30	6,89	-73,80	3,44	-31,75	3,81	-25,02	2,61	-15,83
31	6,90	-64,30	3,56	-29,83	3,79	-22,62	2,70	-14,58
32	6,52	-56,12	3,54	-28,10	3,84	-23,68	2,67	-14,17
33	6,84	-66,44	3,62	-32,51	3,82	-24,00	2,72	-16,03
34	6,65	-73,34	3,65	-40,34	3,83	-28,46	2,79	-19,37
35	6,52	-67,86	3,63	-38,08	3,76	-26,00	2,79	-18,14
36	7,04	-70,64	3,53	-31,41	3,91	-26,26	2,65	-15,86
37	6,43	-61,12	3,52	-32,62	3,69	-23,21	2,78	-14,97

Tabela 3 – Agrupamento dos trinta e sete clones de eucalipto, considerando os oito parâmetros analisados e estimativas dos parâmetros do modelo $Hd = \beta_0(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 l})^{-1} \varepsilon$

Estrat o	Clones					$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$r_{\hat{y}y}$
1	36					31,4223	8,1877	0,0930	0,9596
2	17					36,5225	3,5072	0,0310	0,9551
3	13	21	22	25	28	35,3454	3,1442	0,0353	0,9505
4	16	18				36,6212	3,2395	0,0394	0,9397

5	2	3	32					35,6624	3,4720	0,0510	0,9108
6	30							34,5220	4,5660	0,0591	0,9029
7	12							37,2981	2,7236	0,0352	0,9590
8	14							31,6897	2,6274	0,0444	0,9174
9	29							45,1014	4,9308	0,0374	0,9108
10	4	5	6	31	33			33,5499	4,5936	0,0624	0,9287
11	7	8	9	19	20	23	35	34,5472	3,5962	0,0517	0,9351
12	11	15	24	26	27	37		31,6813	4,0985	0,0618	0,9122
13	10							34,8788	3,0021	0,0495	0,9279
14	1							35,4865	2,8387	0,0435	0,9273
15	34							33,6008	5,4129	0,0601	0,9659

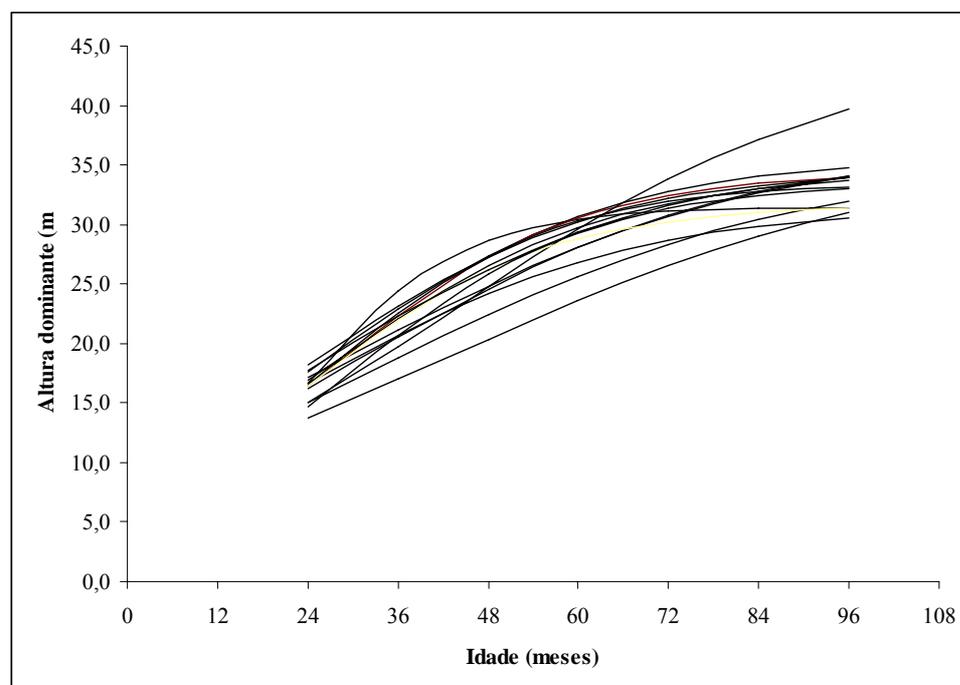


Figura 1 – Curvas-guia específicas de índice de local de cada um dos 15 estratos.

3.2. Modelagem volumétrica e análises para clones com mais de três medições

Para ajuste de modelos de crescimento e produção é necessário averiguar as distribuições das variáveis aplicadas a eles. A área basal observada ao longo do tempo para os 15 estratos foi consistente, apresentando tendência exponencial (Figura 2). Não foi observada tendência

de crescimento em área basal diferente dentro do estrato, porém entre estratos houve tendência diferente; por exemplo, o estrato 5 em comparação com o estrato 7. Este fato já havia sido comprovado ao analisar a Tabela 2, onde o estrato 5 (clones 2, 3 e 32) tem os parâmetros de interseção variando de 28,10 até 29,86 negativos, enquanto o estrato 7 (clone 12) tem o parâmetro de interseção igual a 36,24 negativo.

As tendências de crescimento em altura média das árvores dominantes, altura total, diâmetro médio, assim como a área basal, também foram exponenciais. O estrato 7 apresentou *outliers* para a altura dominante, não ocorrendo o mesmo para a área basal.

A distribuição do diâmetro médio e do volume em função da área basal foram coerentes com as distribuições destas variáveis descritas na literatura (GADOW e BREDENKAMP, 1992; SCHNEIDER, 1993; HUSCH *et al.*, 2003). A variável área basal tem uma forte correlação com o diâmetro médio, e se apresenta como uma tendência exponencial, já que a área basal é relacionada ao quadrado do diâmetro (Figuras 6 e 7).

Os dados para fim de ajuste dos modelos de crescimento e produção foram submetidos a uma criteriosa consistência, seguindo recomendações de Curtis e Marshall (2005) e de Campos e Leite (2006). Dados de algumas parcelas foram eliminados por se tratar de *outliers*. De acordo com Buckman *et al.* (2006), em mensuração é necessária a eliminação de dados para ajustes de modelos de crescimento e produção, para se ter dados padronizados e tendências de crescimento bem definidas. A Figura 8 expressa a relação volume *versus* idade para todos os dados de parcelas permanentes inventariadas; após uma consistência nos dados foi originada a Figura 9.

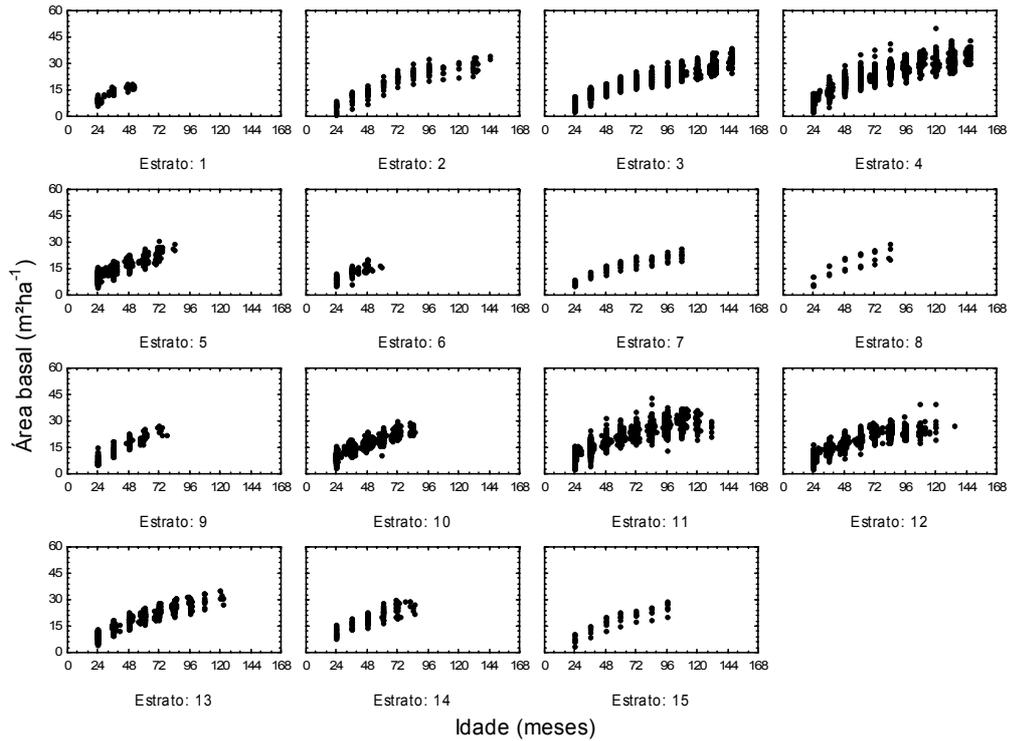


Figura 2 – Dispersão da área basal observada ($\text{m}^2/\text{ha}^{-1}$) ao longo do tempo para os 15 estratos de clones de eucalipto sob regime de alto fuste.

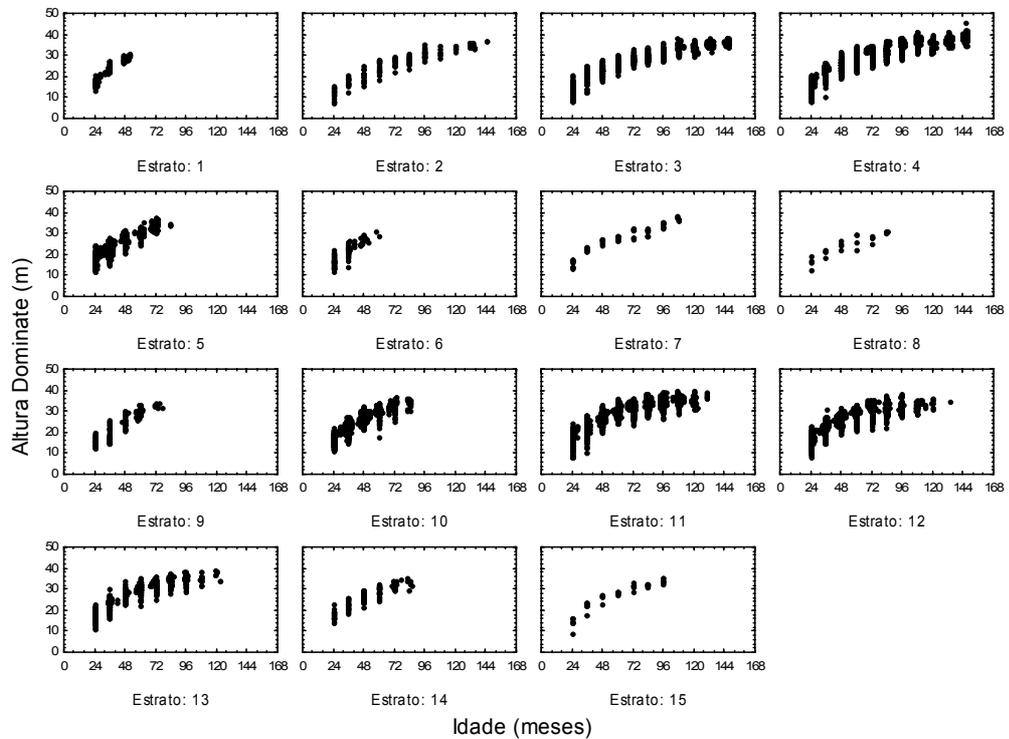


Figura 3 – Dispersão da altura média das árvores dominantes (m) observadas ao longo do tempo para os 15 estratos de clones de eucalipto sob regime de alto fuste.

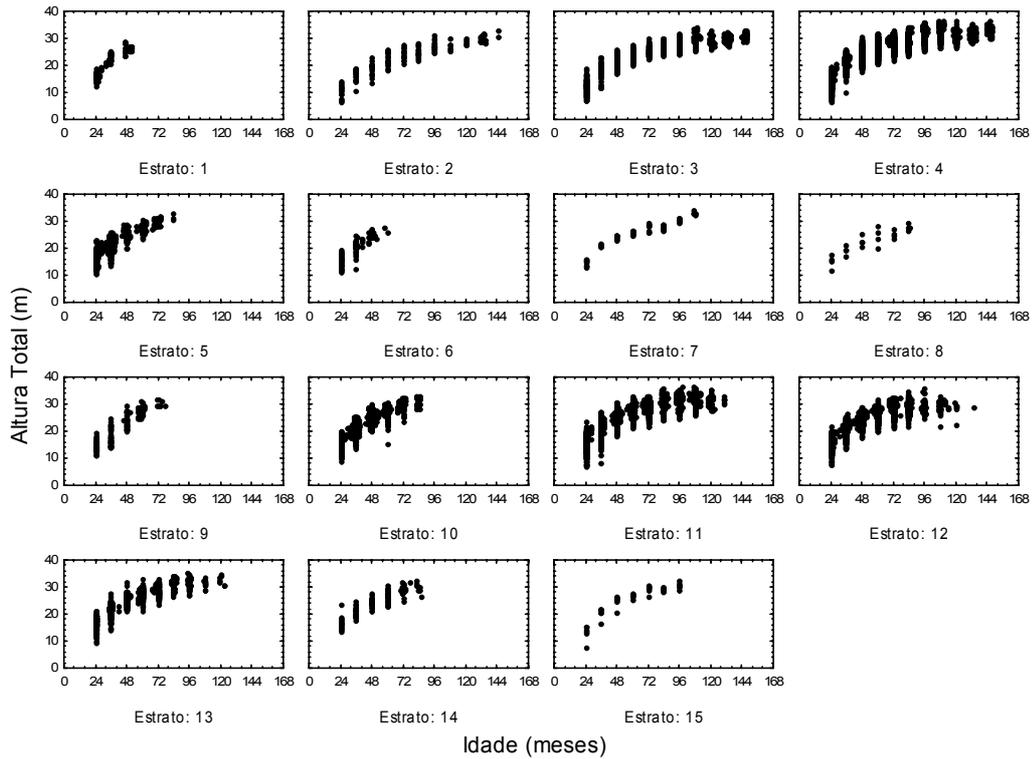


Figura 4 – Dispersão da altura total (m) ao longo do tempo para os 15 estratos de clones de eucalipto sob regime de alto fuste.

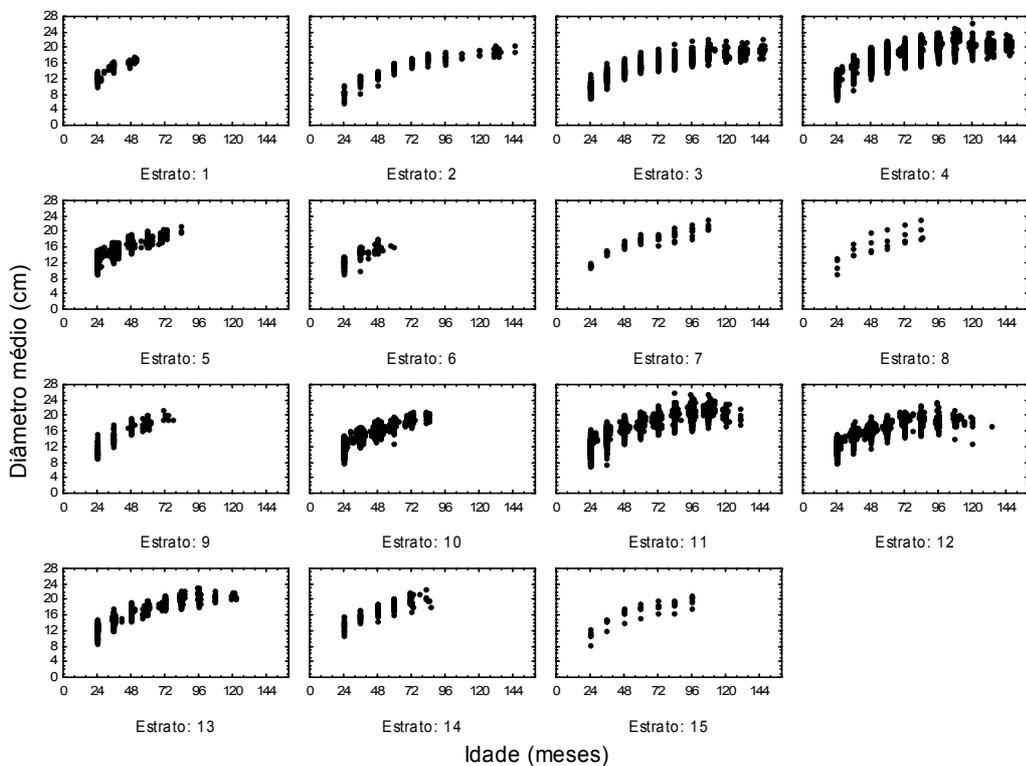


Figura 5 – Dispersão do diâmetro médio (cm) ao longo do tempo para os 15 estratos de clones de eucalipto sob regime de alto fuste.

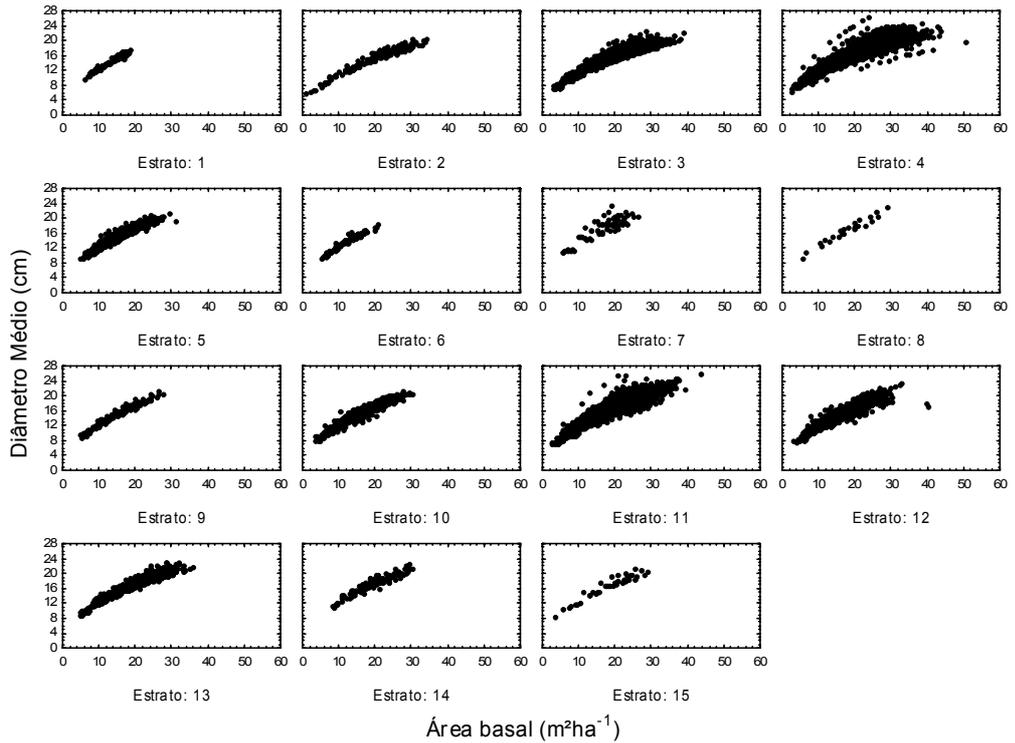


Figura 6 – Distribuição do diâmetro médio (cm) em relação a área basal (m^2/ha^{-1}) para os 15 estratos de clones de eucalipto sob regime de alto fuste.

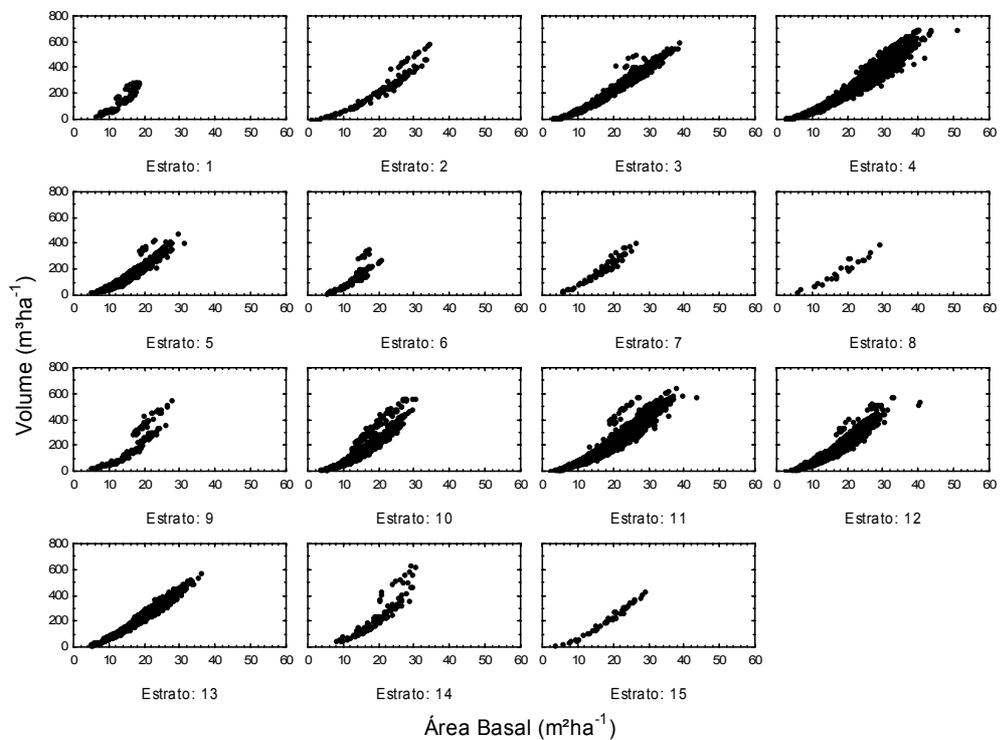


Figura 7 – Distribuição do volume (m^3/ha^{-1}) em relação a área basal (m^2/ha) para os 15 estratos de clones de eucalipto sob regime de alto fuste.

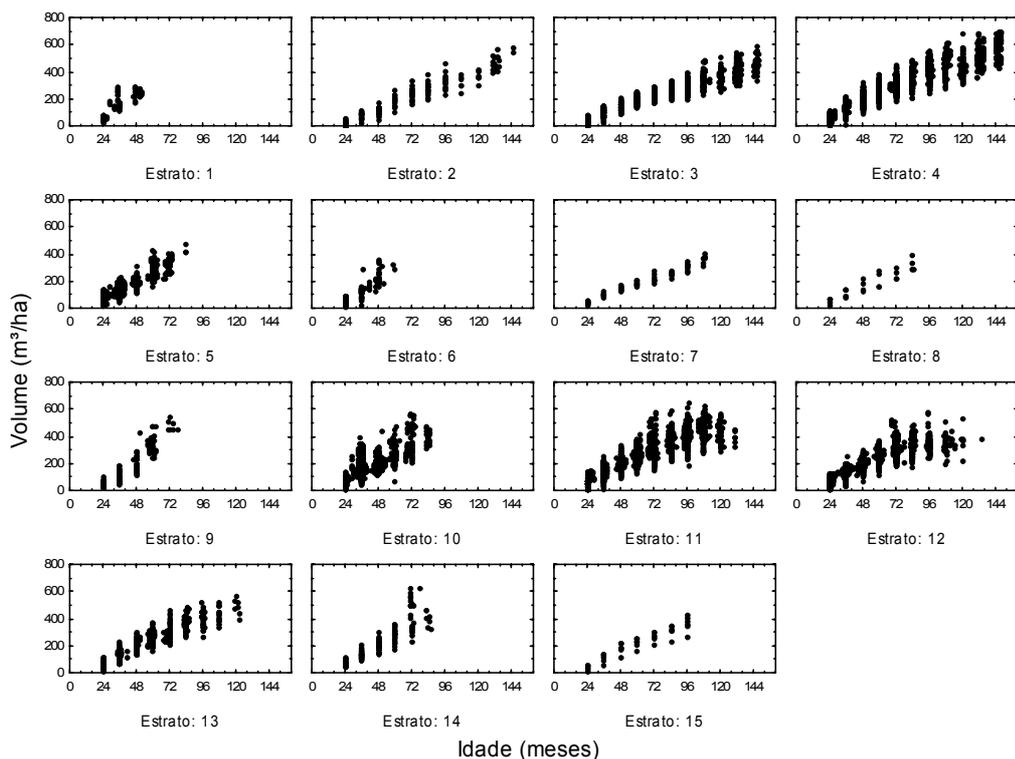


Figura 8 – Volume observado ($\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$) ao longo do tempo para os 15 estratos, considerando todos os dados de medição das parcelas permanentes.

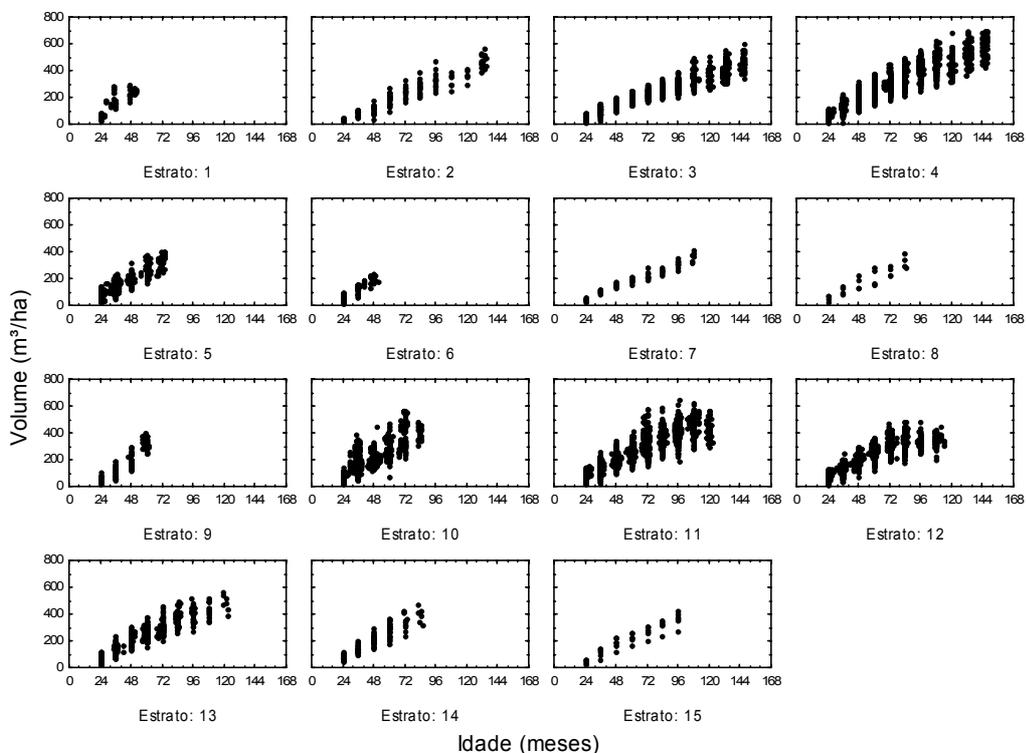


Figura 9 – Volume observado ($\text{m}^3/\text{ha}^{-1}$) ao longo do tempo para os 15 estratos, considerando os dados de medição das parcelas permanentes consistidos.

Em alguns estratos a eliminação dos dados foi mais intensa do que em outros; exemplo disto foi o estrato 14, que apresentou dados, por volta de 72 meses, em duas faixas de tendência. Os dados eliminados, possivelmente, se tratavam de erros de não-amostragem, já que esta faixa não foi observada para as variáveis B , Hd , Ht e q , apresentadas nas Figuras 2 a 5.

O ajuste de um modelo de predição para o estrato 14 sem a consistência de dados pode resultar em estimativas tendenciosas. Por exemplo, ao ajustar um modelo logístico sem consistir os dados, obteve-se o volume de $457,0 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ aos 84, meses, em comparação com o volume de $389,0 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ estimado após a consistência dos dados.

Em consequência, os incrementos médios anuais foram, respectivamente, $55,6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ e $65,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ a partir dos dados consistidos e não-consistidos. Em se tratando de modelos de projeção, a consequência da não-consistência de dados pode ser mais grave (Figura 10).

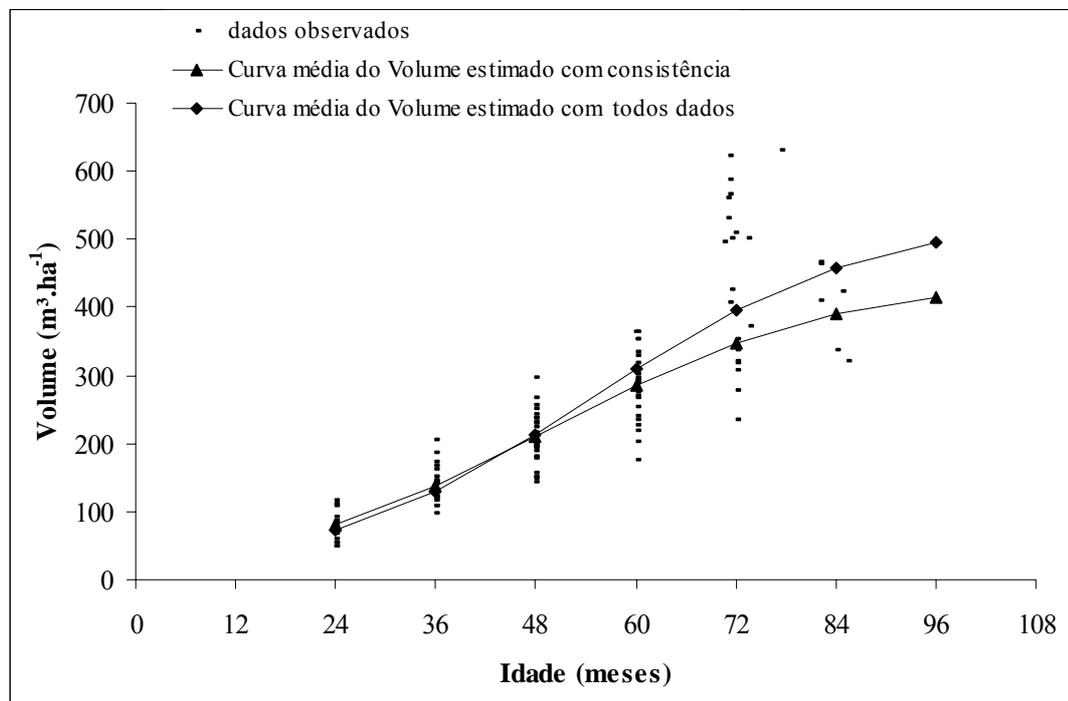


Figura 10 – Curvas de produção com ajuste de um modelo logístico com todos os dados, com os dados consistidos (eliminando os dados destacados no círculo) e dados observados de volume ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$) para o estrato 14.

Do ponto de vista de manejo florestal essa diferença de $10 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ é extremamente significativa. Em uma estrutura regulada, por exemplo, a área de corte anual necessária para atendimento de uma demanda de $5.000.000 \text{ m}^3$ iria variar de 12.846,87 a 10.921,80 ha, ou seja, uma diferença de 1.925,07 ha, suficiente para atender a cerca de 10% da demanda de madeira de uma grande indústria de celulose.

A exclusão de um dado discrepante normalmente feita pelo modelador não necessariamente implica sua retirada do banco de dados. Para isso são necessárias análises criteriosas, e normalmente a decisão sobre a exclusão de um dado do banco é tomada pelo usuário do modelo.

Atualmente o processo de modelagem é realizado, em algumas ocasiões, por pesquisadores de instituições de ensino. Neste cenário, além da modelagem, o modelador passa a fazer também a prognose, tendo esta a finalidade de avaliação do ajuste de modelo. Em contrapartida, a prognose para fins de planejamento em uma empresa normalmente é feita por um profissional do setor de planejamento. Havendo interação entre o modelador e o usuário, o sucesso da prognose é garantido, caso contrário, o risco de equívocos nos planos de manejo é significativo.

O ajuste do modelo de Clutter para ser usado na avaliação das alternativas 1 (Clutter sem aplicação de correção para área basal) e 2 (Clutter com a correção para área basal) é apresentado a seguir:

$$\begin{cases} \text{LnB}_2 = \text{LnB}_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 3,633418 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) & R^2 = 92,53\% \\ \text{LnV}_2 = 1,815681 - 19,745510 \frac{1}{I_2} + 0,017188 S + 1,147794 \text{LnB}_2 & R^2 = 93,85\% \end{cases}$$

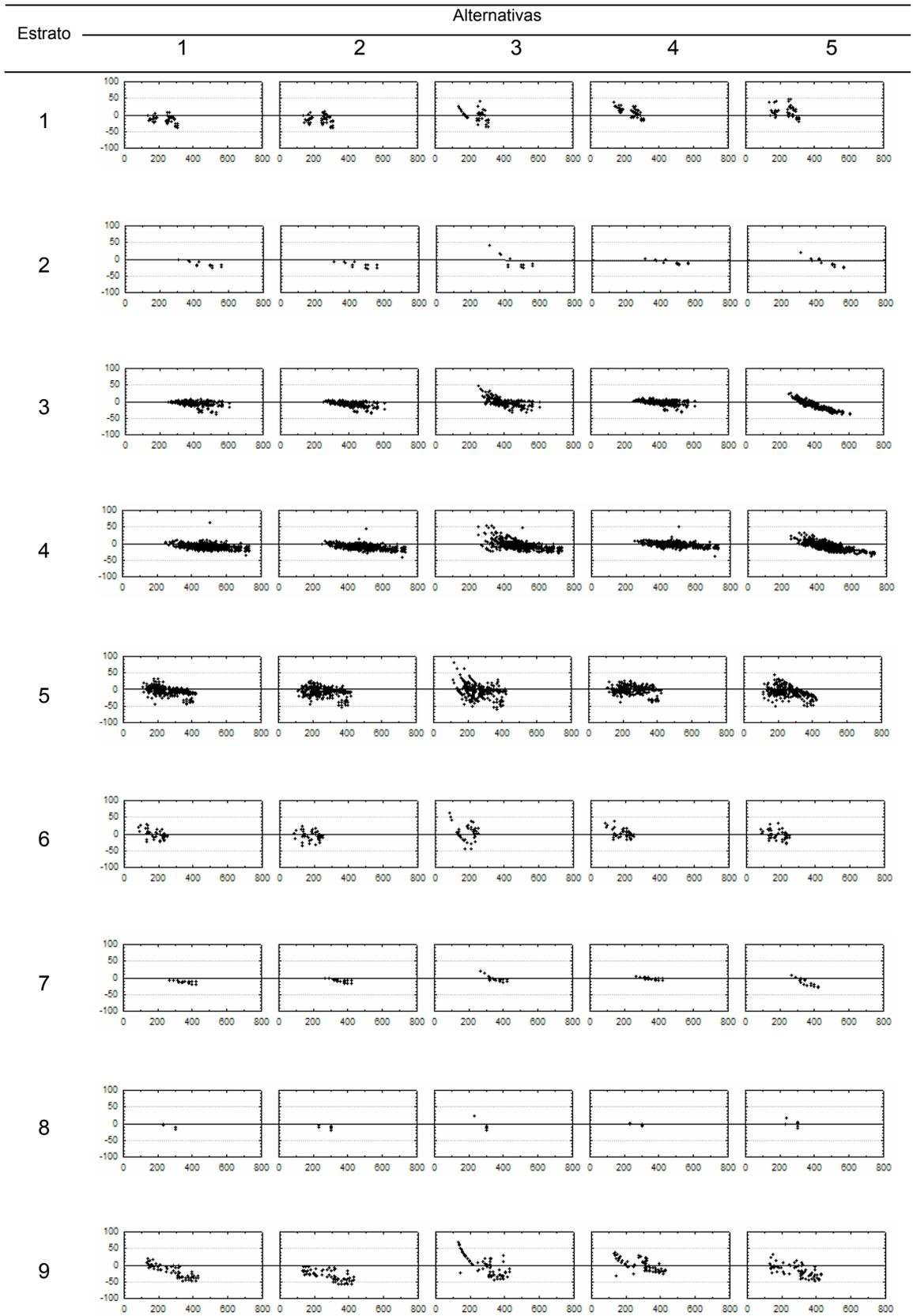
A variável $\left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S$ na expressão da área basal foi retirada por apresentar valor não-significativo estatisticamente. Resultados semelhantes foram encontrados por Dias *et al.* (2005), Valdez-Lazalde e Lynch (2000) e Bennet (1970).

Os ajustes dos modelos para avaliar as alternativas 3 $\left(V = \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l} \right)^{-1} * \text{Coeficiente} \right)$, 4 $\left(V_2 = V_1 + \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l} \right)^{-1} - \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l} \right)^{-1} \right)$ e 5 $(\text{Ln}V = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 l^{-1} S^{-1})$ estão na Tabela 4. A distribuição gráfica dos resíduos, $100(\hat{v} - v)v^{-1}$, calculados a partir das estimativas de volume de 2006, realizadas a partir da medição de 2005 (Figura 11), para as cinco alternativas, apresentou variações consideráveis, quando comparadas às alternativas em cada estrato. O estrato 15 foi desconsiderado por não ter medição em 2006. A alternativa 4 foi a que apresentou a melhor distribuição dos resíduos, na maioria dos estratos. As alternativas 1 e 2, que fazem uso do modelo de Clutter, tenderam a subestimar o volume em todos os estratos, enquanto a alternativa 3 tendeu a superestimá-lo para locais com menor produtividade, ou idade inferior, e subestimá-lo para locais de produtividade maior ou povoamentos mais velhos. A alternativa 5 apresentou a pior distribuição de resíduo.

Em seguida, foram obtidas estimativas de volume por estrato e por alternativa de avaliação, de 2004 para 2005 (Tabela 5), de 2004 para 2006 (Tabela 6) e de 2005 para 2006 (Tabela 7). As estimativas de volume obtidas a partir da medição de 2004 para 2005 apresentaram valores negativos para o estoque de volume total, quando comparado com os valores observados. A alternativa 4 resultou em estimativas de estoque volumétrico mais próximo do valor observado do estoque total, principalmente nos estratos que possuem a maior área (estratos 3 a 5 e 10 a 13). Estas estimativas de volume também foram observadas para as projeções em 2006, feitas a partir de 2004 e de 2005. A estimativa do estoque total em 2006, realizada a partir das medições das parcelas permanentes em 2005, apresentou erro de -2,15%, quando foi usada a alternativa 4, o que é muito satisfatório em termos de manejo florestal. Diante destes resultados, a alternativa 4 foi considerada a mais adequada para os dados analisados.

Tabela 4 – Estimativa dos parâmetros dos modelos ajustados para as alternativas 3, 4 e 5 e coeficiente de correlação ($r_{\hat{y}y}$) para cada estrato

Estrato	Alternativa 3				Alternativa 4				Alternativa 5		
	$V = \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l} \right)^{-1} * \text{Coeficiente}$				$V_2 = V_1 + \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l}} - \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_1}}$				$\text{Ln}V = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 l^{-1} S^{-1}$		
	β_0	β_1	β_2	$r_{\hat{y}y}$	β_0	β_1	β_2	$r_{\hat{y}y}$	β_0	β_1	$r_{\hat{y}y}$
1	265,8467	88,3642	0,1354	0,9711	569,4662	6,4500	0,0802	0,6288	6,9409	-2079,8162	0,9217
2	505,6109	18,6906	0,0373	0,9431	15656,1626	0,5850	0,0012	0,9775	6,5705	-2091,1966	0,9726
3	486,7363	11,4185	0,0307	0,9370	93937,9115	0,0132	0,0039	0,9758	6,3399	-1774,2426	0,9677
4	535,8047	12,5698	0,0388	0,9368	140255,2137	0,0101	0,0049	0,9762	6,5754	-1853,4454	0,9791
5	368,5699	21,0838	0,0685	0,9175	687,0090	5,0364	0,0359	0,9351	6,4648	-1791,4204	0,9686
6	398,6521	48,6516	0,0850	0,9178	12686,6991	19,6520	0,0083	0,8819	6,5939	-2052,4280	0,9767
7	452,1035	13,1554	0,0356	0,9682	19100,5501	0,3096	0,0012	0,9810	6,2513	-1762,4406	0,9796
8	407,9654	15,7182	0,0476	0,9160	25368,4509	4,8275	0,0012	0,9687	6,3701	-1677,9106	0,9623
9	591,3915	95,1072	0,0815	0,9382	447,4343	363,8540	0,1123	0,9037	6,9892	-2702,8088	0,9779
10	447,8668	21,2808	0,0607	0,8601	27329,1610	0,1691	0,0021	0,8351	6,6680	-1994,4276	0,9575
11	450,4220	15,0807	0,0505	0,9305	86865,2158	0,0158	0,0052	0,9618	6,5569	-1861,2680	0,9778
12	336,2208	19,6548	0,0692	0,9052	116888,2770	0,0069	0,0106	0,9308	6,4396	-1698,6191	0,9743
13	443,8015	12,9326	0,0489	0,9358	39091,3480	0,0478	0,0035	0,9678	6,4513	-1678,0529	0,9743
14	442,3689	18,3386	0,0584	0,9198	4304,7953	8,5226	0,0107	0,9260	6,5047	-1690,1218	0,9554
15	388,7275	18,6453	0,0543	0,9392	125253,1331	0,0066	0,0098	0,9889	6,5828	-2159,8424	0,9776



Continua...

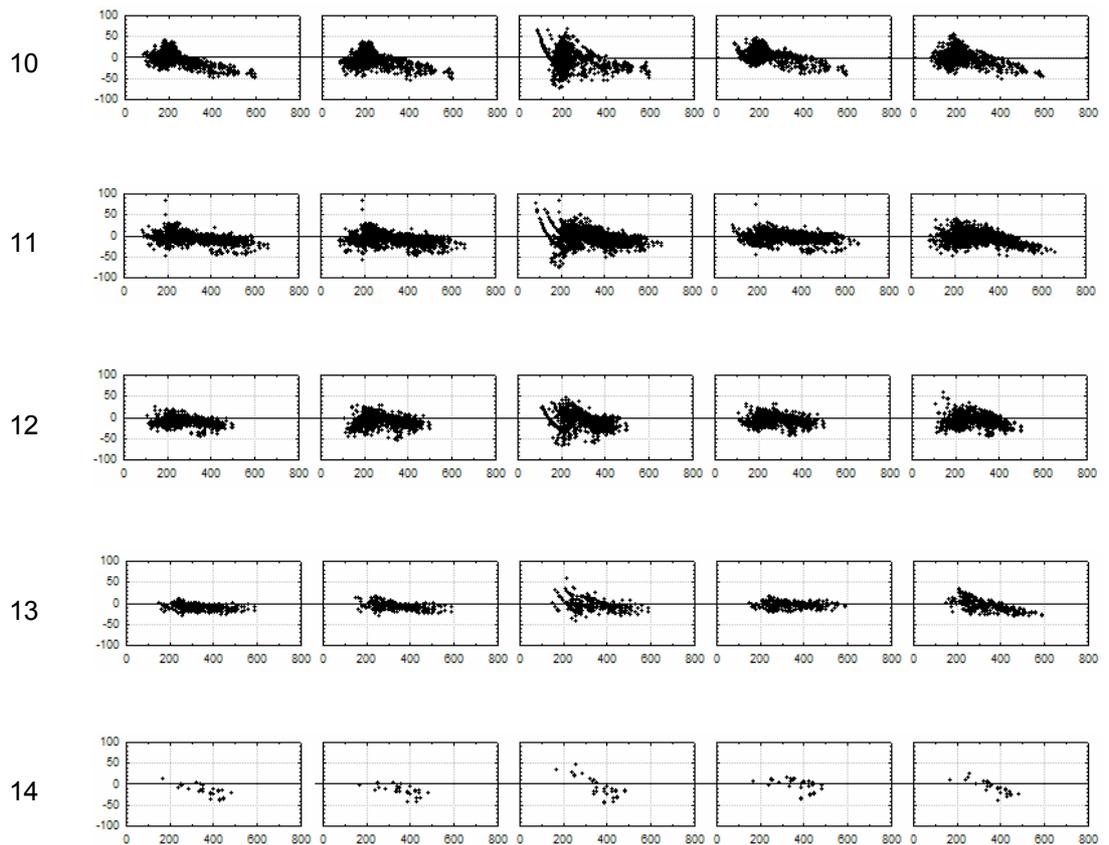


Figura 11 – Distribuição dos resíduos percentuais $(100(\hat{v} - v)v^{-1})$ para cada estrato e para cada alternativa de avaliação.

O processo de avaliação dos ajustes dos modelos deve ser contínuo, de forma a verificar discrepâncias significativas entre as estimativas destes modelos e a produção verdadeira (VANCLAY, 1994). Em condições de clima tropical, a atualização e a conseqüente avaliação devem ser feitas, no caso de eucalipto, pelo menos a cada dois anos.

A partir das alternativas de avaliação, foi elaborada uma tabela de produção volumétrica, utilizando as projeções feitas a partir da última medição (2006). Nesta tabela foram incluídas estimativas para idades entre 36 e 108 meses (Tabela 9). Os estratos que não tinham projeções para todas as idades foram eliminados, para elaboração da tabela da produção. Nesse tipo de tabela é fundamental que se tenham estimativas precisas, já que ela é usada para alimentar um sistema de planejamento florestal, em que são requeridos resultados para diferentes restrições de ordem silvicultural, de colheita e econômica.

Tabela 5 – Estimativas de estoque de volume (m³) para 2005 obtidas a partir da medição das parcelas permanentes em 2004, área, em hectare, e resíduo porcentual ($100(\hat{v} - v)v^{-1}$) por estrato e para cada alternativa de avaliação

Estrato	Volume Observado em 2005 (m ³)	Área (ha)	Volume Estimado em 2005 (m ³) por Alternativa					Resíduo (%) por Alternativa				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	2511,69	187,47	2184,65	2148,58	2505,47	2956,10	2786,68	-13,02	-14,46	-0,25	17,69	10,95
2	1431,85	104,12	1331,38	1278,31	1308,30	1394,35	1414,80	-7,02	-10,72	-8,63	-2,62	-1,19
3	30468,43	2093,78	28576,44	27653,58	28417,37	28733,07	26694,45	-6,21	-9,24	-6,73	-5,70	-12,39
4	94948,89	5943,61	88429,19	87039,56	90635,87	92176,71	87116,55	-6,87	-8,33	-4,54	-2,92	-8,25
5	20053,56	1734,48	18862,09	18605,15	18269,98	19552,34	18236,74	-5,94	-7,22	-8,89	-2,50	-9,06
6	1800,71	152,74	1858,20	1700,31	1571,06	1800,08	1745,36	3,19	-5,58	-12,75	-0,04	-3,07
7	1839,14	34,83	1630,77	1699,88	1752,90	1784,68	1633,91	-11,33	-7,57	-4,69	-2,96	-11,16
8	439,79	34,48	420,46	403,45	406,53	433,57	466,63	-4,40	-8,26	-7,56	-1,41	6,10
9	3529,76	521,71	3432,23	2776,41	3346,72	3898,77	3307,40	-2,76	-21,34	-5,19	10,45	-6,30
10	54817,34	7595,55	49852,27	48663,74	43190,63	53538,92	51662,41	-9,06	-11,23	-21,21	-2,33	-5,76
11	215682,17	18853,99	198036,77	195241,68	195576,59	204789,05	197539,6 2	-8,18	-9,48	-9,32	-5,05	-8,41
12	71380,43	5964,50	64156,59	63707,67	59732,88	65645,94	65632,30	-10,12	-10,75	-16,32	-8,03	-8,05
13	28967,90	3350,12	26268,54	26606,43	26425,16	27441,60	27241,10	-9,32	-8,15	-8,78	-5,27	-5,96
14	2655,31	176,68	2546,00	2504,15	2567,91	2841,28	2773,86	-4,12	-5,69	-3,29	7,00	4,46
Total	530526,97	46748,06	487585,59	480028,92	475707,38	506986,45	488251,8 2	-8,09	-9,52	-10,33	-4,44	-7,97

Tabela 6 – Estimativas de estoque de volume (m³) para 2006 obtidas a partir da medição das parcelas permanentes em 2004, área, em hectare, e resíduo porcentual ($100(\hat{v} - v)v^{-1}$) por estrato e para cada alternativa de avaliação

Estrato	Volume Observado em 2006 (m ³)	Área (ha)	Volume Estimado em 2006 (m ³) por Alternativa					Resíduo (%) por Alternativa				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	4078,98	187,47	3340,25	3298,35	3747,62	4307,16	4423,18	-18,11	-19,14	-8,12	5,59	8,44
2	1847,50	104,12	1398,99	1347,68	1388,85	1576,59	1499,06	-24,28	-27,05	-24,83	-14,66	-18,86
3	34295,47	2093,78	30310,30	29434,66	30812,36	31794,07	28223,56	-11,62	-14,17	-10,16	-7,29	-17,70
4	110350,02	5943,61	94210,56	92904,77	99441,44	103906,89	93798,61	-14,63	-15,81	-9,89	-5,84	-15,00
5	26966,82	1734,48	23914,03	23608,50	23170,49	26090,87	23052,02	-11,32	-12,45	-14,08	-3,25	-14,52
6	2924,13	152,74	2763,95	2578,56	2721,02	2895,12	2677,25	-5,48	-11,82	-6,95	-0,99	-8,44
7	2188,62	34,83	1790,19	1858,01	1951,75	2047,22	1751,19	-18,20	-15,11	-10,82	-6,46	-19,99
8	576,62	34,48	490,24	473,19	476,32	545,10	531,45	-14,98	-17,94	-17,39	-5,47	-7,83
9	7010,88	521,71	4481,15	3768,68	5487,80	6760,31	4768,61	-36,08	-46,25	-21,72	-3,57	-31,98
10	78880,37	7595,55	68721,15	67247,33	60816,50	78413,22	72812,47	-12,88	-14,75	-22,90	-0,59	-7,69
11	259146,95	18853,99	225707,63	222850,10	223452,59	244519,71	226824,27	-12,90	-14,01	-13,77	-5,64	-12,47
12	90459,49	5964,50	77752,51	77118,75	69339,91	80833,62	78539,44	-14,05	-14,75	-23,35	-10,64	-13,18
13	35403,14	3350,12	30372,54	30730,61	30681,24	32960,80	31045,07	-14,21	-13,20	-13,34	-6,90	-12,31
14	3907,59	176,68	2944,46	2901,99	2977,47	3714,56	3172,43	-24,65	-25,73	-23,80	-4,94	-18,81
Total	658036,58	46748,06	568197,95	560121,20	556465,34	620365,25	573118,61	-13,65	-14,88	-15,44	-5,72	-12,90

Tabela 7 – Estimativas de estoque de volume (m³) para 2006 feita a partir da medição das parcelas permanentes em 2005, área, em hectare, e resíduo porcentual ($100(\hat{v} - v)v^{-1}$) por estrato e para cada alternativa de avaliação

Estrato	Volume Observado em 2006 (m ³)	Área (ha)	Volume Estimado em 2006 (m ³) por Alternativa					Resíduo (%) por Alternativa				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	4078,98	187,47	3391,52	3691,14	3743,45	3862,75	4334,11	-16,85	-9,51	-8,23	-5,30	6,25
2	1847,50	104,12	1494,84	1498,96	1520,00	1614,10	1563,03	-19,09	-18,87	-17,73	-12,63	-15,40
3	34295,47	2093,78	32663,45	32198,94	33000,76	33529,43	29059,92	-4,76	-6,11	-3,78	-2,23	-15,27
4	110350,02	5943,61	100918,70	100581,42	103890,86	106679,07	96070,70	-8,55	-8,85	-5,85	-3,33	-12,94
5	26966,82	1734,48	25451,27	25331,02	25760,56	26592,09	24966,22	-5,62	-6,07	-4,47	-1,39	-7,42
6	2924,13	152,74	2761,01	2718,20	3125,09	2895,75	2888,15	-5,58	-7,04	6,87	-0,97	-1,23
7	2188,62	34,83	1899,78	2000,17	2048,02	2101,68	1820,75	-13,20	-8,61	-6,42	-3,97	-16,81
8	576,62	34,48	505,74	511,16	515,20	551,32	553,99	-12,29	-11,35	-10,65	-4,39	-3,92
9	7010,88	521,71	5091,64	4637,21	5803,40	6391,31	5713,51	-27,38	-33,86	-17,22	-8,84	-18,51
10	78880,37	7595,55	73509,13	74405,06	78797,31	79691,63	77825,90	-6,81	-5,67	-0,11	1,03	-1,34
11	259146,95	18853,99	241708,55	243870,62	248151,12	255412,83	237609,74	-6,73	-5,89	-4,24	-1,44	-8,31
12	90459,49	5964,50	80897,19	85525,43	84364,54	86568,10	83006,97	-10,57	-5,45	-6,74	-4,30	-8,24
13	35403,14	3350,12	32170,91	33125,43	33704,39	34487,10	32096,47	-9,13	-6,43	-4,80	-2,59	-9,34
14	3907,59	176,68	2998,38	3057,95	3077,31	3528,59	3259,21	-23,27	-21,74	-21,25	-9,70	-16,59
Total	658036,58	46748,06	605462,12	613152,74	627502,02	643905,77	600768,69	-7,99	-6,82	-4,64	-2,15	-8,70

Tabela 9 – Tabela de produção estimada a partir da medição das parcelas permanentes em 2006 para cada alternativa de avaliação

Estrato	Idade (meses)	Estimativa Volumétrica (m ³ .ha ⁻¹) por Alternativa				
		1	2	3	4	5
1	36	132,37	197,00	213,98	211,32	147,71
	48	192,59	258,61	291,10	276,48	244,28
	60	242,20	306,77	307,80	307,11	329,38
	72	287,37	349,57	314,23	324,31	398,46
	84	324,75	383,90	315,53	331,18	456,53
	96	355,96	411,92	315,79	333,84	505,58
	108	382,32	435,18	315,84	334,87	547,36
4	36	144,79	139,70	111,84	135,93	144,47
	48	214,58	212,10	172,58	205,79	223,50
	60	272,71	270,07	228,94	268,20	281,96
	72	317,58	322,81	303,73	330,46	330,04
	84	357,64	362,74	363,76	386,88	368,87
	96	400,35	410,32	423,02	437,28	398,57
	108	432,62	443,12	465,54	484,14	425,06
5	36	154,50	151,93	147,57	148,47	148,42
	48	221,03	218,45	226,08	218,17	214,20
	60	276,94	276,95	302,32	290,69	266,15
	72	321,85	323,76	353,64	356,48	308,08
	84	361,74	364,26	387,19	421,03	342,71
	96	394,11	396,45	404,39	477,57	371,09
	108	421,30	423,47	412,74	525,39	394,80
10	36	151,45	224,68	228,24	223,68	148,49
	48	205,10	240,71	266,21	245,22	220,04
	60	256,15	285,97	339,32	309,99	281,76
	72	303,11	334,80	412,41	387,12	335,25
	84	342,62	375,44	463,35	464,13	379,86
	96	374,86	405,85	491,77	538,41	416,69
	108	401,89	430,96	507,29	612,28	447,77
11	36	165,50	176,45	149,14	161,30	158,18
	48	218,33	223,09	211,15	213,38	221,62
	60	264,86	265,81	271,35	265,13	273,54
	72	310,59	321,72	338,84	331,34	320,87
	84	352,29	363,95	388,75	387,49	358,87
	96	398,32	407,95	425,45	438,23	390,75
	108	428,75	438,48	448,87	486,00	417,43

Continua...

Tabela 9, Cont.

Estrato	Idade (meses)	Estimativa Volumétrica (m ³ .ha ⁻¹) por Alternativa				
		1	2	3	4	5
12	36	139,35	153,78	147,31	151,11	140,03
	48	198,28	215,19	219,51	212,06	205,64
	60	250,88	272,21	285,07	272,12	256,61
	72	299,51	325,07	334,00	331,43	298,74
	84	336,81	362,14	357,90	376,61	332,23
	96	366,26	391,53	370,43	414,51	359,66
	108	391,63	415,12	374,75	448,97	382,67
13	36	148,94	159,35	156,77	157,07	159,70
	48	208,69	218,49	213,03	210,82	225,12
	60	258,39	275,74	280,10	274,33	274,20
	72	300,74	315,76	330,66	324,28	315,57
	84	344,62	360,10	379,40	382,53	347,95
	96	386,11	399,45	415,15	436,76	375,36
	108	414,84	427,47	435,98	487,17	398,07
14	36	63,22	68,54	50,75	56,86	108,70
	48	124,50	136,95	152,40	175,26	180,01
	60	228,15	363,51	364,67	364,77	260,94
	72	333,83	510,91	522,11	526,83	347,60
	84	375,41	516,49	568,52	617,95	393,35
	96	396,02	508,86	573,01	688,15	425,19
	108	421,31	526,17	596,60	777,95	454,57

A idade de máxima produtividade média foi consistente para a maioria dos estratos e alternativas avaliadas (Figura 12). O fato de alguns estratos não terem esses resultados foi consequência dos dados usados para *input*. Merece destaque o estrato 14, que teve uma diferença significativa entre a alternativa 1 (modelo de Clutter sem correção de área basal) e as outras alternativas. Para este estrato, o usuário deverá tomar uma decisão quanto aos dados que determinaram uma tendência inesperada para valores de incremento médio anual (*IMA*). Sobre a retirada para fins de consistência das estimativas da produção, o usuário deverá fazer uma análise criteriosa, de modo a não incorrer em uma estimativa volumétrica inconsistente, pois o reflexo de estimativas inconsistentes pode ser grave em um empreendimento florestal.

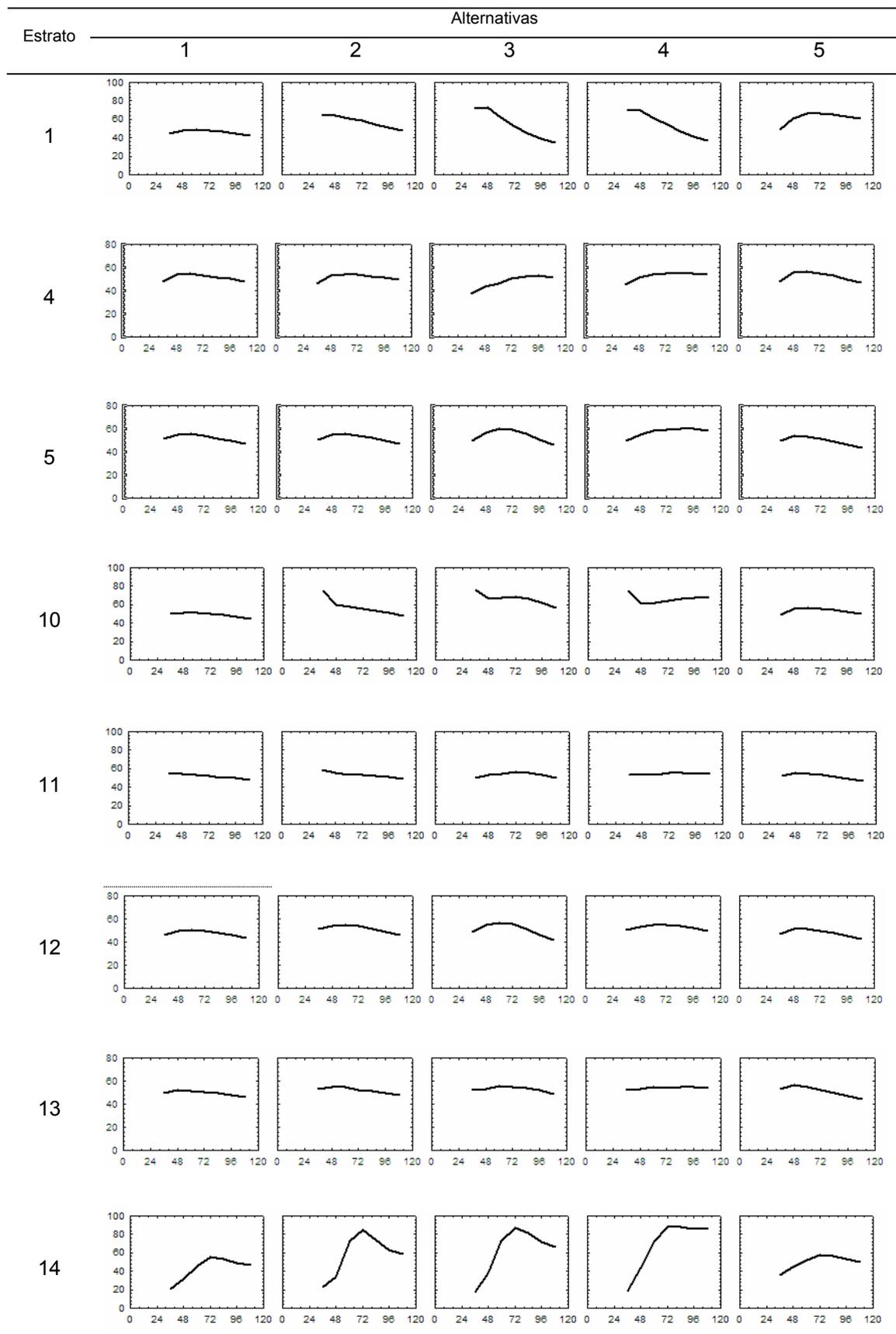


Figura 12 – Estimativas de incremento médio anual ($m^3 ha^{-1} ano^{-1}$) por estrato, em que eixo X = idade e Y = incremento médio anual.

3.3. Modelagem volumétrica e análises para clones com menos de três medições

As equações de predição do modelo logístico, estimadas para os 37 clones com mais de três medições, estão na Tabela 10.

Tabela 10 – Resultados do ajuste do modelo logístico, em que β_0 , β_1 e β_2 são parâmetros do modelo e $r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação, por clone

Clone	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$r_{\hat{y}y}$
1	476,7574	21,0233	0,0586	0,9050
2	369,8601	17,3087	0,0639	0,8979
3	407,4592	24,7468	0,0666	0,9467
4	353,9652	28,0553	0,0740	0,9269
5	439,2905	20,8325	0,0604	0,9509
6	469,8037	17,3215	0,0624	0,8389
7	472,6097	15,1216	0,0525	0,9408
8	439,3925	17,2429	0,0545	0,9414
9	376,3153	20,7542	0,0637	0,9467
10	438,0619	13,0855	0,0498	0,9361
11	405,1198	21,6204	0,0661	0,9382
12	417,0706	13,1000	0,0381	0,9692
13	437,3547	17,1389	0,0433	0,9659
14	334,4043	16,9173	0,0576	0,9164
15	469,6040	13,5918	0,0460	0,9239
16	560,8224	12,6294	0,0375	0,9407
17	519,2718	18,7077	0,0364	0,9456
18	489,8109	10,6521	0,0376	0,9272
19	500,9429	14,0239	0,0447	0,9390
20	407,9843	15,7868	0,0526	0,9300
21	322,1231	14,9720	0,0452	0,9524
22	344,8117	14,4741	0,0441	0,9806
23	413,9796	16,8265	0,0498	0,9458
24	451,4062	17,3657	0,0491	0,9538
25	493,2092	10,5422	0,0305	0,9464
26	332,5204	15,9671	0,0592	0,9328
27	358,9349	18,5662	0,0567	0,9438
28	388,1608	13,6138	0,0377	0,9544
29	591,3915	95,1072	0,0815	0,9382
30	398,6521	48,6516	0,0850	0,9178
31	419,4806	29,7528	0,0830	0,8505
32	292,1975	26,0016	0,0882	0,9412
33	312,8620	76,7378	0,1160	0,9283
34	388,7275	18,6453	0,0543	0,9392
35	444,7038	14,1503	0,0414	0,9459
36	265,8467	88,3642	0,1354	0,9711
37	307,5688	11,5300	0,0521	0,8884

Para fazer as comparações das estimativas de volume para os clones com uma e duas medições, foram selecionadas as unidades de prognose que tinham 24 meses em 2002, ou seja, tinham a primeira medição em 2002, e foram medidas em todos os anos até 2006, totalizando cinco medições. Com isso foram selecionados 12 clones (Tabela 11). Estes clones, na verdade, tinham mais de duas medições, mas para servir de referência comparativa o procedimento foi realizado com a própria base de dados que tinha 37 clones comerciais. Para isso, os 12 clones foram considerados ora como tendo uma medição e ora como tendo duas medições.

Com os coeficientes da equação logística (Tabela 10), foi estimado o volume e calculado o incremento médio anual (*IMA*) para a idade de 24 meses (primeira medição) e para 36 meses (segunda medição) para os 37 clones. Em seguida, o procedimento foi realizado para os 12 clones determinados.

No caso de uma só medição, e para melhor entendimento, tome como exemplo o clone 1. Inicialmente o clone 1 foi eliminado da base dos clones comerciais e considerado apenas como uma medição. O incremento médio anual para o clone 1 aos 24 meses resultou em $41,4 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Tabela 11); com este valor foi determinado qual o clone, dentre os 36, apresentava o *IMA* mais próximo deste valor. Com a determinação do clone comercial mais próximo, verificou-se a qual estrato de modelagem este clone pertencia, tendo sido usado o modelo desse estrato para fazer a prognose do clone 1, para idades que variaram de 36 a 72 meses.

Para o caso do clone com duas medições, foi usada a segunda medição para comparação. Continuando como exemplo o clone 1, o *IMA* aos 36 meses é de $51,2 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, seguindo-se o mesmo procedimento para o clone com uma medição, só que agora foi comparada com as estimativas de *IMA* aos 36 meses dos outros 36 clones comerciais.

Para fazer a prognose para os casos de clones com uma ou duas medições foi considerada a alternativa 4, que foi determinada como a melhor alternativa para prognose dos clones com mais de três medições, além da alternativa 1. O objetivo foi verificar, no caso de clones com menos de três medições, se é melhor um modelo mais simples (com menos variáveis) por

estrato ou um modelo mais complexo (com mais variáveis) ajustado com todos os dados.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, não foi possível determinar qual a melhor alternativa, já que para alguns clones a melhor resposta foi dada pelo modelo mais simples (alternativa 4), enquanto para outros o melhor foi a estimativa em que foi usado o modelo de Clutter ajustado com todos os dados (alternativa 1). Houve casos em que um clone, quando tinha uma medição, determinou como melhor para prognose o uso da alternativa 4, enquanto este mesmo clone, quando passava a ter duas medições, tinha como melhor alternativa o uso do modelo de Clutter. Isto ocorreu, por exemplo, com o clone 1.

No caso de clones com menos de três medições, a escolha de uma alternativa deve ser feita pelo modelador e pelo usuário. Muitas vezes existe uma expectativa de produção volumétrica de um clone, mesmo com base em poucas medições. Exemplo é o incremento médio anual aos 7 anos (*IMA7*), cuja solução pode ser o uso da alternativa 4 e 1 e verificar ao se fazer a prognose qual tem o valor mais próximo do *IMA7* esperado, e, então, determinar o mais adequado. Este procedimento não foi realizado para este estudo, pela falta da informação esperada do *IMA7*.

Para clones que não têm nenhuma medição, a solução pode ser o uso de um modelo genérico, podendo ser um modelo ajustado com todos os dados, representando uma curva de produção média, ou para uma determinada região. Outra possibilidade é a recomendação de Campos e Leite (2006), que é admitir a semelhança de uma área nova para plantio com outra, para a qual tenha um modelo determinado e dados suficientes para se fazer uma prognose.

A modelagem do crescimento e da produção é um processo dinâmico, e sempre que necessário deve ser atualizada, pelo menos a cada dois anos. Os bancos de dados de parcelas permanentes devem ser atualizados e consistidos para ajustes de modelos de crescimento e produção e para a classificação da capacidade produtiva. A amostragem com a finalidade de avaliar a capacidade produtiva e a modelagem do

Tabela 11 – Incremento médio anual observado, estimativas de incremento médio anual e diferença porcentual para duas alternativas de prognose, por idade, ano de medição e clone

Clone	Ano de medição	Idade (meses)	IMA Observado (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Alternativa 4				Alternativa 1 Modelo de Clutter sem correção			
				$V_2 = V_1 + \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 I_2}} - \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 I_1}}$							
				IMA estimado a partir de 24 meses (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 36 meses (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 24 meses (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 36 meses (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Diferença (%)
1	2002	24	41,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	51,2	55,0	7,5	-	-	56,0	9,4	-	-
	2004	48	58,0	61,4	5,8	55,2	-4,9	59,5	2,5	57,3	-1,3
	2005	60	61,2	65,0	6,2	56,7	-7,3	58,7	-4,1	58,1	-5,1
	2006	72	80,4	67,1	-16,6	57,1	-29,0	56,3	-30,0	56,3	-30,1
2	2002	24	34,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	44,4	46,7	5,3	-	-	50,8	14,4	-	-
	2004	48	49,4	51,4	4,1	51,0	3,3	55,5	12,3	50,4	2,2
	2005	60	54,0	52,6	-2,5	53,4	-1,1	55,6	3,1	53,3	-1,3
	2006	72	53,3	52,4	-1,7	54,3	1,8	54,0	1,4	52,4	-1,7
3	2002	24	34,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	47,5	44,8	-5,7	-	-	50,2	5,7	-	-
	2004	48	52,8	51,6	-2,2	52,6	-0,3	54,9	4,0	52,0	-1,4
	2005	60	57,5	57,0	-0,8	56,5	-1,8	55,1	-4,0	55,5	-3,5
	2006	72	56,8	61,6	8,5	57,7	1,5	53,4	-6,0	54,1	-4,7
4	2002	24	31,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	39,9	39,1	-2,2	-	-	47,8	19,6	-	-
	2004	48	49,2	42,9	-12,8	50,3	2,3	53,3	8,3	46,8	-4,9
	2005	60	55,4	45,3	-18,2	52,8	-4,6	54,0	-2,4	49,0	-11,5
	2006	72	53,2	46,9	-11,7	53,9	1,4	52,9	-0,6	48,6	-8,5

Continua...

Tabela 11, Cont.

Clone	Ano de medição	Idade (meses)	IMA Observado (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Alternativa 4				Alternativa 1			
				$V_2 = V_1 + \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 I_2}} - \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 I_1}}$				Modelo de Clutter sem correção			
				IMA estimado a partir de 24 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 36 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 24 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 36 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)
6	2002	24	35,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	50,0	48,7	-2,6	-	-	52,9	5,8	-	-
	2004	48	55,9	52,9	-5,4	52,5	-6,1	57,7	3,2	54,1	-3,1
	2005	60	59,9	53,8	-10,2	54,6	-8,9	57,8	-3,6	57,0	-4,8
	2006	72	80,7	53,3	-34,0	55,3	-31,5	55,9	-30,8	55,5	-31,3
7	2002	24	37,7	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	50,4	49,9	-1,0	-	-	52,7	4,7	-	-
	2004	48	52,3	53,8	2,9	53,8	2,9	57,1	9,3	55,2	5,6
	2005	60	60,5	54,5	-9,9	54,5	-9,9	57,1	-5,7	57,9	-4,3
	2006	72	60,8	54,0	-11,3	54,0	-11,3	55,3	-9,0	56,5	-7,1
8	2002	24	29,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	40,0	37,1	-7,1	-	-	46,2	15,6	-	-
	2004	48	48,8	40,9	-16,0	49,6	1,8	51,8	6,2	47,1	-3,5
	2005	60	53,0	43,2	-18,6	51,2	-3,4	52,7	-0,6	49,9	-5,8
	2006	72	72,8	44,5	-38,9	51,2	-29,7	51,7	-29,0	49,6	-31,8
10	2002	24	36,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	43,4	48,9	12,6	-	-	46,6	9,6	-	-
	2004	48	46,1	53,0	15,0	53,6	16,2	51,8	13,9	45,8	0,8
	2005	60	52,8	53,9	2,2	57,2	8,4	52,5	0,7	48,8	-6,4
	2006	72	54,0	53,5	-1,0	58,3	8,0	51,4	-3,3	48,6	-8,6

Continua...

Tabela 11, Cont.

Clone	Ano de medição	Idade (meses)	IMA Observado (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Alternativa 4				Alternativa 1			
				$V_2 = V_1 + \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 t_2}} - \frac{\hat{\beta}_0}{1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 t_1}}$				Modelo de Clutter sem correção			
				IMA estimado a partir de 24 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 36 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 24 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)	IMA estimado a partir de 36 meses (m³.ha⁻¹.ano⁻¹)	Diferença (%)
11	2002	24	40,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	56,1	49,6	-11,6	-	-	55,6	-0,9	-	-
	2004	48	60,4	55,5	-8,1	60,8	0,6	59,5	-1,5	58,0	-4,0
	2005	60	62,0	58,8	-5,1	64,5	4,1	59,0	-4,7	60,1	-2,9
	2006	72	61,6	59,7	-3,1	66,6	8,1	56,8	-7,7	58,0	-5,8
16	2002	24	32,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	45,2	43,9	-2,9	-	-	48,1	6,4	-	-
	2004	48	61,9	50,9	-17,8	51,9	-16,1	53,3	-13,9	53,4	-13,8
	2005	60	64,0	56,5	-11,8	55,9	-12,7	53,9	-15,8	55,1	-13,9
	2006	72	69,9	61,0	-12,7	57,3	-18,1	52,6	-24,8	54,1	-22,6
19	2002	24	37,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	44,0	52,5	19,3	-	-	53,7	22,0	-	-
	2004	48	56,3	59,6	5,8	53,3	-5,3	58,1	3,2	56,2	-0,2
	2005	60	63,8	63,5	-0,4	58,4	-8,5	58,0	-9,1	58,9	-7,7
	2006	72	59,7	65,9	10,4	62,9	5,4	55,8	-6,4	56,9	-4,6
20	2002	24	31,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	2003	36	41,6	45,7	9,8	-	-	48,5	16,7	-	-
	2004	48	47,6	50,6	6,2	51,2	7,5	53,3	11,9	50,1	5,1
	2005	60	51,0	52,0	1,9	55,3	8,3	53,6	5,1	52,0	1,8

2006

72

48,4

51,8

7,1

56,8

17,2

52,2

7,9

51,2

5,7

crescimento e da produção devem ser representativas, sendo melhor utilizar um número menor de parcelas, porém representando toda a área em termos de classe de produtividade, do que um número muito grande de parcelas, sem representatividade de condições extremas e intermediárias. Em banco de dados de inventário florestal contínuo (IFC) isso não ocorre. Muitas vezes as condições extremas não são representadas de modo eficiente, e sempre haverá excesso de informações na condição média. É preciso lembrar que a modelagem não visa representar uma condição média como o IFC. Isto resulta na necessidade de amostragem seletiva, no banco de dados de inventário, para fins de modelagem. Além disso, em alguns casos é necessário lançar parcelas específicas para captar variações nas condições extremas.

Procedimentos utilizados atualmente no Brasil para classificação da capacidade produtiva e modelagem precisam ser revistos, já que grande parte desses estudos não considerava a dinâmica dos plantios clonais. Alguns destes procedimentos muitas vezes foram desenvolvidos no Brasil, e até em outros países, para plantios de semente, ou para outras condições de ambiente.

O modelo de Clutter (1963), um dos mais difundidos no Brasil (CAMPOS e LEITE, 2006), foi ajustado originalmente com dados de *Pinus taeda*, nos Estados Unidos. No Brasil este modelo tem sido usado na forma definida pelo autor, para uma condição específica. O próprio autor chamava a atenção para o fato de que o sistema definido naquela ocasião não seria aplicado a todas as espécies e nem a todos os tipos de manejo. O modelo original era composto das seguintes relações funcionais:

$$\text{LnV} = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 (\text{LnB}) + \beta_3 \frac{1}{I} + \beta_4 S(\text{LnB}) + \beta_5 S \frac{1}{I} + \beta_6 \frac{1}{I} (\text{LnB}) + \varepsilon \quad (8)$$

Com base na significância dos parâmetros, para os dados de *P. taeda* o modelo foi reduzido ao sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ln}B_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S + \varepsilon \\ \text{Ln}V_2 = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{I_2} + \beta_2 S + \beta_3 \text{Ln}B_2 + \varepsilon \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Ln}B_2 = \text{Ln}B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left(1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S + \varepsilon \\ \text{Ln}V_2 = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{I_2} + \beta_2 S + \beta_3 \text{Ln}B_2 + \varepsilon \end{array} \right. \quad (10)$$

As expressões 9 e 10 sempre foram utilizadas no Brasil e, na maioria dos casos, têm resultado em estimativas precisas e livres de viés. Entretanto, principalmente para povoamentos de clones de eucalipto, é necessário avaliar a contribuição estatística de cada uma das variáveis exógenas do sistema.

Outro ponto que merece atenção ao modelar crescimento e produção de povoamentos clonais é a estimação da área basal futura. Em alguns casos, a prognose do incremento em área basal (ΔB) é mais interessante, do ponto de vista de precisão, do que a projeção da produção da área basal futura.

Em outros casos, as variáveis exógenas que incluem o índice de local têm sido não-significativas. Isto aponta, por exemplo, para algumas perguntas ou questionamentos: por que não substituir B por q nas expressões 9 e 10? O modelo de Buckman (1962) não seria mais eficiente para clones de eucalipto? Não haveria outras relações funcionais, de passo invariante, que resultariam em maior eficiência para estimar B e ΔB ? Se sim, como ficariam os sistemas de equações resultantes e as expressões de taxa de crescimento, produtividade média e idade técnica de corte?

Além da modelagem, é necessária atenção especial ao realizar a prognose em povoamentos clonais. Um modelo pode estar muito bem ajustado e validado, porém, se seu uso não for correto, pode resultar em sérios equívocos nos modelos de regulação florestal.

Com o avanço dos recursos computacionais, a realização da prognose do crescimento e da produção tornou-se uma tarefa menos trabalhosa, ficando a maior parte do trabalho na escolha dos procedimentos mais adequados para uma dada espécie, região, regime de corte etc., já que a simulação utilizando estes procedimentos é rápida.

Um dos problemas em modelagem do crescimento e da produção no Brasil é a qualidade dos dados mantidos nas empresas, pois algumas vezes

esses dados deixam a desejar em termos qualitativos e quantitativos. Isto ocorre às vezes pela falta de pessoal com conhecimento específico de métodos estatísticos e de manejo florestal. Atualmente, com o desenvolvimento de *softwares* específicos, o trabalho de modelar tornou-se menos árduo, ficando muitas vezes demorado em função de uma grande consistência que tem de ser feita nos dados. Apesar disso, a prognose ainda continua sendo um grande desafio para o florestal.

Finalmente, cabe lembrar que a modelagem do crescimento e da produção deve ser um processo interativo entre modelador e usuário e, sempre que for possível, estes dois profissionais têm de ser distintos, ou seja, não é interessante que o modelador e o usuário sejam a mesma pessoa. Para as empresas não é interessante que o usuário seja o modelador, pela possibilidade de adição de tendências nas estimativas, por outro lado o modelador também não pode assumir o papel de usuário, já que na maioria das vezes ele não tem conhecimento específico sobre a área de estudo, e até mesmo sobre as expectativas de produtividade.

4. CONCLUSÕES

As florestas de clones de eucalipto devem ser estratificadas para modelagem do crescimento e produção.

O procedimento proposto neste estudo para modelagem do crescimento e da produção de clones com mais de três medições é eficiente, ajustando modelos mais simples por estrato, quando comparado com modelos mais complexos sem estratificar.

Para a região de estudo e o período contemplado, a alternativa 4, que foi determinada pelo uso do modelo, $v_2 = v_1 + \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_2} \right)^{-1} - \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_1} \right)^{-1}$ por estrato, foi mais eficiente para estimar o estoque volumétrico total.

A estimativa de crescimento e produção para clones que possuem menos de três medições pode ser realizada por meio de modelos específicos por estrato ou de um modelo geral, porém esta decisão deve ser mais bem avaliada pelo modelador e pelo usuário.

Ao ajustar um modelo $V = f(l)$, sua relação funcional deve ser transformada para $V_2 = V_1 + f(l_2) - f(l_1)$, desde que não haja perda excessiva de dados de medições mais recentes ao considerar os dados pareados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EVERETT, T.E., BURKHART, H.E. **Forest measurements**. 4. ed. New York: McGraw-Hill Book Co, 1994. 408 p.

BENNET, F.A. Variable-density yield tables for managed stands of natural slash pine. USDA, **Forestry Service**, 1970. 7 p. (Research note – SE-141)

BUCKMAN, R.E. **Growth and yield of red pine in Minnesota**. Washington, DC: USDA, 1962. (Technical bulletin, 1972).

BUCKMAN, R.E.; BISHAN, B.; HANSON, T.J.; BENFORD, F.A. **Growth and yield of Red Pine in the lake states**. United States Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station, 2006. 115 p.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 470 p.

CLUTTER, J.L. Compatible growth and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.

CLUTTER, J.L. FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V.; BRISTER, R.G.H.; BAILEY, R.L. **Timber management**: a quantitative approach. New York: John Willey e Sons, 1983. 333 p.

CURTIS, R.O.; MARSHALL, D.D. **Permanent-plot procedures for silvicultural and yield research**. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 2005. 86 p.

DIAS, A.N.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; COUTO, L.; CARVALHO, F.C. Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 731-739, 2005.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Willey e Sons. 3rd ed., 1998. 706 p.

GADOW, K.V.; BRESENKAMP, B. **Forest management**. 1. ed. Academia a division of J. L. Van Schaik (Pty) Ltd. 1064. Arcadia Street. Hatfield. Pretoria. 1992. 151 p.

GARCIA, S.L.R.; LEITE, H.G. **Curso de estatística florestal**. Viçosa, MG. Faculdade de Viçosa. 2006. 401 p. (apostila).

GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto**. 1994. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

HUSCH, B.; BEERS, T.W.; KERSHAW JUNIOR, J. A. **Forest mensuration**. 4. ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 2003. 443 p.

LEITE, H.G. **Ajuste de um modelo de estimação de frequência e produção por classe de diâmetro, para povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith**. 1990. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1990.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. **Multivariate analysis**. London: Academic Press, 1979. 521 p.

MORGAN, P.H.; MERCER, L.P.; FLODIN, N.W. General model for nutrition responses of higher organisms. **Proc. Nat. Acad. Sci.**, USA, v. 72, n. 11. p. 4327-4331, 1975.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; CARVALHO, A.F.; SOUZA, A.L. Modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p.579-589, 2005.

PECE DE RIOS, M.G.V. **Um modelo de crescimento e produção aplicado a plantações de *Eucalyptus pellita***. 1993. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

ROSAS, M.P. **Alternativas de determinação da idade técnica de corte de *Eucalyptus urophylla***. 1994. 70 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

SCHNEIDER, P.R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993. 348 p.

SCHUMACHER, F.X. A new growth curve and its application to timber studies. **Journal of Forestry**, v. 37, p. 819-820, 1939.

SifProg. **Sistema para elaboração de estudos de prognose**. Versão 4.4. 2006. Disponível em: <www.treesoftware.com.br>. Acesso em: 7 jul. 2006.

SOARES, C.P.B. **Um modelo para o gerenciamento da produção de madeira em plantios comerciais de eucalipto**. 1999. 71 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

SOUZA, R.N. **Efeito de dois espaçamentos na produção em peso e volume de *Eucalyptus grandis* (W.Hill ex- Maiden)**. 1988. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

STATSOFT, INC. STATISTICA (data analysis software system), version 7. 2004. www.statsoft.com.

SULIVAN, A.D.; CLUTTER, J.L. A simultaneous growth and yield for loblolly pine. **Forest Science**, v. 18, n. 1, p. 76-86, 1972.

TREVIZOL JÚNIOR, T.L. **Análise de um modelo compatível de crescimento e produção em plantações de *Eucalyptus grandis* (W.Hill ex-Maiden)**. 1985. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

VALDEZ-LAZALDE, J.R.; LYNCH, T.B. Merchantable and total volume equations for thinned stands of Patula Pine In Puebla, México. **Agrociência**, v. 34, n. 6, p. 747-758, 2000.

VANCLAY, J.K. **Modelling forest growth and yield**. Wallingford, UK: CAB International, 1994. 312 p

2. CONCLUSOES GERAIS

O procedimento proposto denominado de método da similaridade de perfis, utilizado para estimar volume individual de árvores de clones de eucalipto, pode ser usado para estimar o volume de árvores dos clones que não têm equações específicas. Isto resulta em maior precisão das estimativas de inventário, quando comparadas com as estimativas obtidas por equações genéricas.

O método da similaridade de perfis gera estimativas semelhantes ao comparar dados observados e estimados, tanto de árvores individuais como de todo um talhão.

O volume de árvores de clones novos, para os quais ainda não se tem equação de volume, pode ser determinado a partir de cubagem de três de suas árvores (uma pequena, uma média e uma grande) e de um banco de dados de cubagem de outros clones comerciais.

As florestas de clones de eucalipto devem ser estratificadas para construção de curvas de índice de local.

O procedimento proposto neste estudo para estratificar florestais clonais de eucalipto para fins de construção de curvas de índice de local, é eficiente, agrupando clones com tendências semelhantes de crescimento em altura dominante, resultando em estimativas de volume mais precisas próximo à idade de corte.

A estimativa de índice de local para clones que possuem menos de três medições pode ser determinada a partir das informações de altura dominante, diâmetro médio, área basal e volume, obtidas no inventário florestal contínuo de outros clones.

O procedimento proposto neste estudo para modelagem do crescimento e produção de clones com mais de três medições é eficiente, ajustando modelos mais simples por estrato, quando comparados com modelos mais complexos, sem estratificar.

O emprego do modelo $v_2 = v_1 + \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_2} \right)^{-1} - \hat{\beta}_0 \left(1 + \hat{\beta}_1 e^{-\hat{\beta}_2 l_1} \right)^{-1}$ por estrato pode ser mais eficiente para estimar o estoque volumétrico total, quando comparado com outros procedimentos.