

ALINE EDWIGES MAZON DE ALCÂNTARA

**ALTERNATIVAS DE MODELAGEM PARA PROJEÇÃO DO  
CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM NÍVEL DE POVOAMENTO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

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

T

A347a  
2012

Alcântara, Aline Edwiges Mazon de, 1984-  
Alternativas de modelagem para projeção do crescimento  
de eucalipto em nível de povoamento / Aline Edwiges Mazon  
de Alcântara / Aline Edwiges Mazon de Alcântara. – Viçosa,  
MG, 2012.  
xi, 52f. : il. ; 29cm.

Orientador: Helio Garcia Leite.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f. 49-52.

1. Eucalipto - Crescimento - Modelos matemáticos.
2. Projeção. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDO adapt.CDD 634.956

ALINE EDWIGES MAZON DE ALCÂNTARA

**ALTERNATIVAS DE MODELAGEM PARA PROJEÇÃO DO  
CRESCIMENTO DE EUCALIPTO EM NÍVEL DE POVOAMENTO**

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

APROVADA: 14 de fevereiro de 2012.

  
Márcio Leles Romarco de Oliveira

  
Carlos Pedro Boechat Soares  
(Coorientador)

  
Helio Garcia Leite  
(Orientador)

*Aos meus pais Edna e Robério, que me proporcionaram uma vida digna, iluminando meus caminhos com afeto, amor e dedicação mostrando que tudo é possível desde que sejamos honestos e que nunca devemos desistir.*

*"A sabedoria superior tolera; a inferior julga; a superior perdoa; a inferior condena. Tem coisas que o coração só fala para quem sabe escutar!"  
(Chico Xavier)*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida e por todas as bençãos.

Á Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade concedida.

Á Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor e amigo Helio Garcia Leite, pela ótica orientação, amizade, paciência, pela confiança depositada em mim e pelos valiosos ensinamentos que serão muito importantes na minha vida profissional.

Ao professor Carlos Pedro Boechat Soares pela coorientação e contribuições.

Ao professor Márcio Leles Romarco de Oliveira, pelas sugestões apresentadas.

Ao Engenheiro responsável da empresa que disponibilizou os dados para a realização deste trabalho.

Á professora Silvana Lages Garcia, pela torcida e incentivo.

Á secretaria de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Florestal, Ritinha e Alexandre pelos favores atendidos e pelas informações.

Ao Chiquinho da Floresta pelas belas palavras.

Aos meus pais, Edna e Robério por todo amor, carinho, apoio e por caminharem ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me ensinando o valor do respeito, disciplina e responsabilidade e me ensinando a ser uma pessoa melhor. À Daniela, por me transmitir calma e força nos momentos difíceis e por estar sempre ao meu lado participando dos momentos divertidos e os tornando ainda mais felizes.

À minha irmã Aninha e ao meu cunhado Luiz Fernando pela amizade, carinho, por estarem sempre torcendo por mim e mesmo distantes, participarem tanto da minha vida.

Aos meus grandes amigos Marcos, Cristina, Aline Ramone, Ricardo, Camila, Eduarda, Camilete, Bernardo e Bárbara, pois distantes ou não foram peças fundamentais e responsáveis por momentos inesquecíveis.

À Lourdinha, Aline e Marcelão, pela amizade e por sempre torcerem pelo meu trabalho.

Aos meus “tios” Rubinho e Cida pela torcida e carinho.

À toda equipe Dap pelo apoio e incentivo.

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

Minha gratidão e reconhecimento a todos, MUITO OBRIGADA!

## **BIOGRAFIA**

Aline Edwiges Mazon de Alcântara, filha de Robério José de Alcântara e Edna Mazon de Alcântara, nasceu em 15 de setembro de 1984 na cidade de Viçosa, Minas Gerais.

Em março de 2006, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em janeiro de 2010. Em agosto de 2010, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de mestrado, na área de Manejo Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, submetendo-se à defesa de tese em 14 de fevereiro de 2012.

## CONTEÚDO

RESUMO .....	VIII
ABSTRACT .....	X
1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3 – MATERIAL E MÉTODOS .....	8
3.1 – Descrição dos dados.....	8
3.2 – Classificação da Capacidade Produtiva.....	9
3.3 – Modelagem do Crescimento e da Produção .....	10
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
5 – CONCLUSÕES .....	47
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## RESUMO

ALCÂNTARA, Aline Edwiges Mazon de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2012. **Alternativas de modelagem para projeção do crescimento de eucalipto em nível de povoamento.** Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientador: Carlos Pedro Boechat Soares.

Este estudo foi conduzido empregando dados de parcelas permanentes de inventários florestais contínuos conduzidos em povoamentos de clones de eucalipto. O objetivo foi desenvolver e propor algumas abordagens para modelagem em nível de povoamento e avaliar algumas já existentes. Os modelos e as abordagens desenvolvidos foram aplicados e os resultados foram comparados com a opção do emprego do modelo de Clutter na sua forma mais usual (alternativa 1). Na segunda alternativa a área basal futura foi expressa em função da idade e da altura dominante na idade atual ao invés do índice de local. Na terceira o índice de local da equação da área basal foi substituído pela altura dominante na idade futura, constituindo um sistema de três equações. Na quarta foi estimado o incremento em área basal em função das idades atual e futura e do índice de local. Na quinta alternativa foram empregados todos os dados consistidos, incluindo parcelas que foram mensuradas numa única ocasião. Neste caso, foram incluídas as seguintes variáveis

independentes: idade e índice de local para a estimação da área basal e idade, índice de local e área basal para estimação do volume. Nas alternativas 1, 2, 3 e 4 foram testadas 24 relações funcionais definidas a partir do modelo original de Clutter (1963). Com base nos resultados foi possível concluir que o índice de local, na equação de projeção da área basal proposta por Clutter (1963), pode ser substituído pela altura dominante na mesma idade sem perda de eficiência e de exatidão. Parcelas com apenas uma medição podem ser utilizadas juntamente com parcelas com mais de uma medição para ajuste de modelo de densidade variável, sem perda da eficiência. Pode-se concluir que é sempre necessário testar diferentes alternativas e abordagens para modelar o crescimento e a produção, não havendo uma alternativa que possa ser empregada a todos os estratos de modelagem.

## ABSTRACT

ALCÂNTARA, Aline Edwiges Mazon de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february, 2012. **Modeling alternatives for estimating eucalyptus growth at the population level.** Adviser: Helio Garcia Leite. Co-adviser: Carlos Pedro Boechat Soares.

This study was conducted using data from permanent eucalypt plots in continuous forest inventories, conduction in clone population eucalyptus. The objective was to develop and propose approaches to modeling forestry population levels and evaluate some existing models. The models and approaches developed were applied and the results were compared with those obtained from the Clutter model in its most usual form (alternative 1). In the second alternative the future basal area was expressed in function of age and dominant height at the current age instead of the site index. The third considered that the site index of the basal area equation was replaced by the dominant height in the future age, constituting a system of three equations. In the fourth the increase in future basal area was estimated in function of the current ages and future and site index. The fifth alternative was employed considering all data, including plots that were measured only once. In this case the following independent variables were included: age and site index for the estimation of basal area and age, site index and basal area to estimate volume. In

alternatives 1, 2, 3 and 24 functional relationships from the original model of Clutter (1963). Based on the results it was concluded that the site index, in the projection equation of the basal area proposed by Clutter (1963), can be replaced by the dominant height at the same age without loss of efficiency and accuracy. Plots measured only once may be used together with plots possessing more than one measurement to adjustment variable density models without loss of efficiency. It is always necessary to test different alternatives and approaches for growth and yield modeling since there is no one alternative that can be applied to all situations.

## 1 - INTRODUÇÃO

A madeira de eucalipto é uma importante matéria-prima para uso em movelaria, produção de celulose e de carvão, dentre outros. No caso de movelaria, grande parte da madeira utilizada ainda é proveniente de florestas naturais (inequiâneas), muitas vezes exploradas de forma predatória.

Mais recentemente os povoamentos equiâneos têm sido utilizados como fontes alternativas de produção de madeira e derivados, diminuindo a pressão sobre as florestas inequiâneas. Apesar da possibilidade de uso da madeira de povoamentos de eucalipto para multiprodutos, a maior parte da madeira ainda é utilizada em fábricas de celulose e em empresas produtoras de carvão vegetal.

Entre as florestas equiâneas, as de *Eucalyptus* são as mais importantes, por ser o mais plantado e estudado no Brasil, com sua madeira empregada para várias finalidades, como na produção de carvão vegetal, celulose, energia elétrica e madeira serrada entre outros. Para o manejo dessas florestas é necessário conhecer o potencial produtivo de cada compartimento dos povoamentos e projetar estoques de crescimento e de colheita.

Essa projeção pode ser feita com eficiência empregando modelos em nível de povoamento, exceto quando o uso da madeira envolve multiprodutos. O crescimento de um povoamento florestal depende do material genético, da idade, da capacidade produtiva, do grau de utilização do potencial produtivo do local e de tratamentos silviculturais (Campos e Leite, 2009).

A dinâmica desse crescimento pode ser conhecida empregando métodos que envolvam observações feitas no povoamento, ou métodos que utilizam tabelas, equações ou modelos de simulação de crescimento e produção (Avery e Burkhart, 1994; Campos e Leite, 2009).

O termo modelagem refere-se a estudos e aplicações típicos de mensuração florestal, estando relacionado com a estimação da produção dos povoamentos florestais (Dias, 2005a). Os modelos mais utilizados no Brasil são aqueles em nível de povoamento, que estimam o crescimento, e ou, a produção, fazendo uso de variáveis como idade, área basal e índice de local (Campos e Leite, 2009). O índice de local é determinado empregando métodos quantitativos de classificação da capacidade produtiva, sendo comum o uso do método da curva-guia. A área basal é usualmente estimada empregando modelos em nível de povoamento, incluindo as variáveis explicativas: idade, área basal atual e índice de local. Essa área basal projetada é usada como *input* em modelos de predição ou de projeção do volume por hectare.

Os modelos mais utilizados no Brasil envolvem relações do tipo:  $V=f(I)$ ,  $V=f(I,S)$  e  $V=f(I,S,B)$ , sendo  $V$  o volume por hectare,  $B$  a área basal por hectare,  $S$  o índice de local e  $I$  a idade do povoamento. A escolha de uma dessas alternativas ocorre em função dos dados disponíveis. Sempre que possível tem sido ajustados modelos  $V=f(I,S,B)$  e, nesse caso, há um predomínio do modelo de Clutter (1963).

O emprego do modelo de Clutter pode resultar em inconsistências, principalmente na área basal, conforme relatado por Salles (2010). Em função disso, surge a necessidade de investigar novas abordagens para predição e projeção da área basal bem como para modelagem do

crescimento e da produção em nível de povoamento. Outra opção seria empregar ou construir outro modelo de densidade variável. Por exemplo, Cruz (2005) propôs o emprego de um modelo de densidade variável, como alternativa para os modelos de Clutter (1963) e de Buckman (1962), composto por três equações:  $Hd_2 = f(Hd_1, I_1, I_2)$   $B_2 = f(B_1, I_1, I_2)$  e  $V_2 = f(B_2, Hd_2)$

No estudo de Sales (2010) foi observado que algumas variáveis independentes do modelo de Clutter foram não significativas para determinados clones e locais. Isso resultou na necessidade de testar diferentes formas de emprego do modelo para cada região e estrato para modelagem em nível de povoamento.

O objetivo do presente estudo foi avaliar algumas abordagens para modelagem do crescimento de povoamentos de clones de eucalipto em nível de povoamento, incluindo algumas modificações do modelo de Clutter (1963).

## 2 – REVISÃO DE LITERATURA

A modelagem do crescimento e da produção é um processo dinâmico e os bancos de dados de parcelas permanentes devem ser atualizados e consistidos para este fim e para a classificação da capacidade produtiva. A amostragem para essa modelagem deve ser representativa, abrangendo condições intermediária e extrema de capacidade produtiva (Oliveira, 2007). Segundo este autor, uma metodologia para construir um modelo de crescimento e produção envolve a definição, objetivo, a obtenção dos dados, a construção do modelo, a aplicação de testes de validação do modelo e a sua aplicação.

Os modelos de crescimento e produção podem ser em nível de povoamento, em nível de árvores individuais ou de distribuição de diâmetros, podendo ser de predição ou de projeção. Vários trabalhos no Brasil já foram feitos conduzidos para estimar crescimento e produção de povoamentos equiâneas. Leite (1990) utilizou dados de parcelas permanentes de *Eucalyptus saligna*. Outros estudos envolvendo a modelagem do crescimento e da produção foram: Campos (1997), Souza (1988), Guimarães (1994), Soares (1999), Cruz (2005), Nogueira (2005), Dias (2005), Novaes (2009), Oliveira (2007), Sales (2010), dentre outros.

Um refinamento importante no modelo de Clutter (1963) foi feito por Soares (1999). Este autor inclui a variável precipitação defasada no modelo, resultando na possibilidade de se fazer prognose otimista, pessimista e mais provável, bem como simular o efeito dessa variável climática no crescimento de povoamentos de eucalipto.

No estudo de Novaes (2009), foi demonstrado o emprego de dados de análise de tronco para ajuste dos modelos de Clutter (1963) e Buckman (1962), além de um modelo em nível de árvores individuais, esse estudo foi conduzido com dados de povoamentos de teca. Silva (2009), também utilizou dados de teca (parcelas permanentes) para simular alternativas de amostragem visando o ajuste do modelo de Clutter. Este autor demonstrou que a amostragem relativa é eficiente para obter dados para modelagem.

No trabalho de Oliveira (2007), foram propostas e sugeridas alternativas para modelagem do crescimento quando ocorre limitação no número de medições das parcelas permanentes. Portanto vários estudos sobre modelagem já foram conduzidos no Brasil. Esses trabalhos foram desenvolvidos com modelagem em nível de povoamento e também por classe de diâmetro. Modelos de árvores individuais são mais raros no Brasil e uma abordagem consistente deste tipo de modelagem é encontrada em Bolzan (2010).

Os modelos em nível de povoamento podem ser subdivididos em: modelos de produção, os quais utilizam a idade e o índice de local como variáveis independentes, informando a produção corrente e futura e gerando tabelas de produção normal ou empírica; e modelos de crescimento e produção, que, além da idade e do índice de local, utilizam a densidade como variável independente. Nesse caso é estimado crescimento e a produção, corrente e futura, sendo geradas tabelas de produção de densidade variável (Campos e Leite, 2009).

O modelo de Clutter está entre as principais relações funcionais utilizadas em estudos de crescimento e produção em nível de

povoamento. No trabalho de Clutter (1963), foram utilizados dados de parcelas estabelecidas em povoamentos de *Pinus taeda*, nos Estados Unidos. O sistema de equações definido naquela ocasião, com os dados em estudo, não é aplicado a todas as espécies e a todos os tipos de manejo. Apesar disso, o modelo de Clutter tem sido muito utilizado no Brasil, para diferentes espécies, clones e regiões na sua forma usual que foi definida originalmente pelo autor em 1963.

No trabalho de Salles (2010), utilizando dados de clones de eucalipto em um sistema agroflorestral, foi testada a contribuição de todas as variáveis do modelo de Clutter, sendo definidos sistemas de equações específicas, para cada clone. O autor demonstrou a importância do emprego do modelo de Clutter na sua forma original, seguida da análise da contribuição estatística de cada uma de suas variáveis.

A área basal é uma variável fundamental nos modelos usuais de densidade variável como o modelo de Clutter. Em alguns casos o modelo de Clutter resulta em inconsistências na estimativa da área basal e do volume, conforme já relatado por Salles (2010) para sistemas agroflorestrais. Alternativas para estimação da área basal já foram propostas em vários estudos, como Pienaar *et al* em 1987 e Cruz (2005). No modelo de Pienaar *et al* 1987, a área basal futura foi estimada em função das idades inicial e final ( $I_1$  e  $I_2$ ), do número de indivíduos sobreviventes e da altura dominante nas idades  $I_1$  e  $I_2$ , contemplando, desta forma, a sobrevivência e a capacidade produtiva. Para plantios equiâneos, com mortalidade, insignificante, pode-se substituir o número de indivíduos sobreviventes por outras variáveis, como o diâmetro médio, que poderão resultar em maior exatidão.

Segundo Goven *et al* 1998, existem abordagens equivalentes que podem ser usadas para calcular a área basal. A primeira, denominada método do ponto médio, é baseada no uso dos diâmetros no ponto médio, para o cálculo da área basal. A segunda denominada métodos dos momentos, utiliza uma fórmula clássica para o cálculo da área basal

utilizando as classes de diâmetros. Este autor propôs a estimativa da área basal futura através da projeção da distribuição diamétrica utilizando a função densidade de probabilidade Weibull com dois parâmetros.

Outra alternativa para a modelagem do crescimento e da produção é a utilização de redes neurais artificiais (RNA). Apesar de ser uma ferramenta muito eficiente para auxiliar a tomada de decisão no manejo de florestas equiâneas, seu uso é ainda incipiente. Alguns trabalhos de modelagem já foram desenvolvidos empregando RNA, como: Guan e Gertner no início da década de 90 (1991a; 1991b; 1995) e Silva (2010), dentre outros.

No trabalho de Silva (2010), utilizando dados de clones de eucalipto do sul da Bahia, foram utilizadas variáveis numéricas, como idade, área basal, *dap*, altura total, volume e variáveis categóricas, como classe de solo, textura, tipos de espaçamento, relevo, projeto e clone. Foi concluído nesse trabalho que as RNA apresentaram resultados satisfatórios em ambos os níveis, povoamento total e árvore individual, comprovando o potencial e aplicabilidade da técnica na solução dos problemas do manejo florestal e processos de tomada de decisão.

## 3 – MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 – Descrição dos dados

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de parcelas permanentes de inventários florestais contínuos, conduzidos em povoamentos de clones de eucalipto localizados no Estado de Minas Gerais. Esses dados foram cedidos por uma empresa florestal e os povoamentos contemplados estão localizados ao norte e ao sul do Estado em quatro regiões (Tabela 1 e 2). Cada região foi considerada como um estrato por questões administrativas e também por não haver diferenças muito expressivas de tendência de crescimento entre os talhões de cada região. Esta verificação foi feita preliminarmente, não sendo apresentado no presente estudo.

Os dados em nível de árvore foram processados pela própria empresa, sendo geradas estimativas por parcela e ano de medição, das seguintes variáveis: média das alturas das árvores dominantes ( $H_d$ ), área basal ( $B$ ) e volume comercial com casca, para um diâmetro superior e maior ou igual a 4 cm ( $V_{4cc}$ ). Os valores médios, mínimos e máximos dessas variáveis estão nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Número de parcelas, amplitude e valores médios de idade e altura dominante (*Hd*), em nível de parcela em quatro regiões do Estado de Minas Gerais.

Região	Idade (meses)		<i>Hd</i> (m)			Número de Parcelas
	Mínima	Máxima	Mínima	Média	Máxima	
1	36	60	11,9	19,7	26,5	473
2	36	60	10,2	19,4	29,9	874
3	36	60	12,8	19,7	30,0	634
4	24	84	9,3	20,8	34,7	2535
Médias / Total	33	66	11,1	19,9	30,3	4516

Tabela 2 - Amplitude e valores médios, da área basal (*B*) e volume até 4 cm com casca (*V4cc*), em nível de parcela, para cada região.

Região	<i>B</i> (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )			<i>V4cc</i> (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
	Mínima	Média	Máxima	Mínimo	Médio	Máximo
1	3,71	12,78	20,98	15,23	112,61	236,21
2	2,19	11,80	22,07	7,89	95,75	272,40
3	6,62	15,15	34,47	36,89	125,93	393,91
4	2,98	12,55	29,77	10,38	110,98	358,48
Médias	3,88	13,07	26,82	17,60	111,32	315,25

### 3.2 – Classificação da Capacidade Produtiva

Para determinação da capacidade produtiva, foi utilizado o método da curva-guia. Inicialmente, foram ajustados os modelos logístico e exponencial para cada região. A escolha entre eles foi feita com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), no erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) e na consistência entre as curvas de índices de local e as alturas dominantes observadas conforme (Campos e Leite, 2009). Os modelos ajustados foram:

$$Hd = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I}} + \varepsilon \quad (\text{modelo Logístico}) \text{ e}$$

$$\text{Ln}(Hd) = \beta_0 + \beta_1 \left( \frac{1}{I} \right) + \varepsilon \quad (\text{modelo Shumacher})$$

em que:

$Hd$  = média das alturas dominantes por parcela, em metros;

$I$  = idade em meses;

$\text{Ln}$  = logaritmo neperiano;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = parâmetros; e

$\varepsilon$  = erro aleatório

Seguindo os procedimentos detalhados por Campos e Leite (2009), para uma idade índice de 72 meses, as equações transformadas para estimar ( $S$ ) foram:

$$S = Hd \left( 1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I} \right) \left( 1 + \beta_1 e^{-\beta_2 72} \right)^{-1} e$$

$$S = e^{\text{Ln}Hd - \beta_1(I^{-1} - 72^{-1})}$$

### 3.3 – Modelagem do Crescimento e da Produção

A partir do modelo de Clutter (1963) na sua forma original, conforme (Campos e Leite, 2009), foram definidas 24 relações funcionais para projeção do volume (Tabela 3),

em que:

$V_2$  = volume futuro na idade  $I_2$  em  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ;

$\text{Ln}$  = logaritmo neperiano;

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_5$  e  $\beta_6$  = parâmetros;

$I_2$  = Idade futura, em meses;

$B_2$  = área basal na idade  $I_2$  em  $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$ ;

$S_1$  = índice de local, em m;

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

Tabela 3 – Relações funcionais obtidas a partir do modelo original de Clutter (1963).

<b>Código do Modelo</b>	<b>Modelo</b>
1	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \varepsilon_i$
2	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \varepsilon_i$
3	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
4	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$
5	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \varepsilon_i$
6	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
7	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$
8	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \varepsilon_i$
9	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
10	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \varepsilon_i$
11	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
12	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_3 S_1 + \varepsilon_i$
13	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \varepsilon_i$
14	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
15	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$
16	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \varepsilon_i$
17	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$
18	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
19	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \varepsilon_i$
20	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$
21	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
22	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$
23	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_6 LnB_2 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$
24	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$

Para projeção da área basal foram definidas e avaliadas as seguintes alternativas:

1 – Uso das parcelas permanentes com pelo menos duas medições e emprego do modelo:

$$LnB_2 = LnB_1(I_1I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1I_2^{-1}) + \alpha_1(1 - I_1I_2^{-1})S_1 + \varepsilon ;$$

2 – Uso das parcelas permanentes com pelo menos duas medições e emprego do modelo:

$$LnB_2 = LnB_1(I_1I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1I_2^{-1}) + \alpha_1(1 - I_1I_2^{-1})Hd_1 + \varepsilon ;$$

3 – Uso das parcelas permanentes com pelo menos duas medições e emprego do sistema de equações:

$$LnHd_2 = LnHd_1(I_1I_2^{-1}) + \alpha_2(1 - I_1I_2^{-1}) + \varepsilon$$

$$LnB_2 = LnB_1(I_1I_2^{-1}) + \alpha_0(1 - I_1I_2^{-1}) + \alpha_1(1 - I_1I_2^{-1})Hd_2 + \varepsilon ;$$

4 – Uso das parcelas com pelo menos duas medições e emprego do seguinte procedimento:

$$LnB_i = \gamma_0 + \gamma_1I^{-1} + \gamma_2S + \varepsilon \text{ (a)}$$

$$\Delta B_{1-2} = \hat{B}_{I_2} - \hat{B}_{I_1} , \text{ obtida a partir da equação estimada com o modelo (a)}$$

$$\hat{B}_2 = B_{I_{OBS}} + \Delta B_{I_1-I_2} , \text{ sendo } \hat{B}_i \text{ a área basal estimada na idade } i.$$

5 – Uso de todas as parcelas permanentes e emprego do modelo:

$$LnB = \sigma_0 + \sigma_1I^{-1} + \sigma_2S + \varepsilon , B_i \text{ e demais variáveis conforme já definido.}$$

As alternativas 1 a 4 foram testadas juntamente com cada uma das relações funcionais da Tabela 3, resultando em 100 sistemas de equações diferentes para cada uma das quatro regiões. Esses sistemas de equações foram ajustados pelos métodos de mínimos quadrados (alternativas 4 e 5), mínimos quadrados em dois estágios (alternativas 1 e 2) e mínimos quadrados em três estágios (alternativa 3).

A alternativa 5 é interessante pelo fato de não serem descartadas parcelas com apenas uma medição. Em alguns casos o percentual de parcelas com uma medição pode ser de 40% ou mais. Nas regiões 1, 2, 3 e 4, os percentuais de parcelas com apenas uma medição foram, respectivamente, 30%, 48%, 42,7% e 17,1%. Nas abordagens 1 a 4 todas essas parcelas foram descartadas nos ajustamentos. Ocorre que geralmente essas parcelas são as mais importantes para as empresas por se tratar de “pacotes tecnológicos” mais recentes. O procedimento requerido nesta quinta alternativa não envolve as equações da Tabela 3, sendo:

- a) Ajuste do modelo  $LnB_i = \gamma_0 + \gamma_1 I^{-1} + \gamma_2 S + \varepsilon$
- b) Ajuste do modelo  $LnV_i = \gamma_3 + \gamma_4 I^{-1} + \gamma_5 S + \gamma_6 LnB + \varepsilon$ ,  $V_i$  = produção na idade  $i$  ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ).
- c) Estimar uma área basal compatível ( $B_{1c}$ ) com o volume ( $V_1$ ) numa idade atual ( $I$ ):

$$B_{1c} = \exp \left[ (LnV_1 - \hat{\gamma}_3 - \hat{\gamma}_4 I^{-1} - \hat{\gamma}_5 S) / \hat{\gamma}_6 \right]$$

- d) Estimar um índice de consistência para a área basal ( $I_c B$ ), por:

$$I_c B = \exp(\hat{\gamma}_0 + \hat{\gamma}_1 I_1^{-1} + \hat{\gamma}_2 S) / B_{1c}$$

- e) Aplicar a equação da área basal para a idade de interesse,  $I_2$ , e obter a produção futura em área basal por:

$$B_2 = \exp(\gamma_0 + \gamma_1 / I_2 + \gamma_2 S) / I_c B$$

- f) Aplicar a equação obtida em b para a idade de interesse ( $I_2$ ) e obter a produção futura:

$$V_2 = \exp(\hat{\gamma}_3 + \hat{\gamma}_4 I_2^{-1} + \hat{\gamma}_5 S + \hat{\gamma}_6 \text{Ln}B_2)$$

Desta forma, para cada uma das quatro regiões foram avaliados 101 modelos de crescimento e produção. As estimativas da área basal e de volume obtidas com esses modelos foram avaliadas pelas seguintes medidas de exatidão: raiz quadrada do erro médio (*RQEM*), erro médio percentual (*bias%*) e desvio padrão do erro médio percentual (Sales, 2010) e por meio de análises gráficas de resíduos, sendo:

$$RQEM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}} \quad bias\% = 100 \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left[ \left( y_i - \frac{\hat{y}_i}{y_i} \right) \right] \quad S_{\bar{y}} = \pm \sqrt{S^2/n} \quad e$$

$$Re\ siduo(\%) = \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \cdot 100$$

em que:

$Y_i$  e  $\hat{Y}_i$  = valores observado e estimado da variável sob análise;

$n$  = número de casos

$S^2$  = variância da amostra

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Classificação da Capacidade Produtiva

Com base no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), no erro padrão residual ( $S_{yx}$ ) e na consistência entre as curvas de índices de local e as alturas dominantes observadas, foi selecionada a função Logística para cada um dos quatro estratos. Na Tabela 4 são apresentados os valores mínimo, médio e máximo do índice de local estimado para cada região. Os coeficientes utilizados para estimar esses índices de local são apresentados na Tabela 5 e os feixes de curvas de índices de local, para as regiões de 1 a 4, na Figura 1.

Tabela 4 – Valores mínimos, médios e máximos e índice de local (m) por região, para uma idade-índice de 72 meses.

Região	Mínimo	Médio	Máximo
1	15,8	23,7	28,6
2	13,1	23,7	32,7
3	15,9	24,5	33,1
4	12,6	24,5	36,1

Tabela 5 – Estimativas dos parâmetros do modelo logístico ajustado para estimar a altura dominante em cada região, com o o respectivo coeficiente de determinação.

Região	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup>
1	38,8851	2,9865	0,0257	0,8607
2	32,2657	3,3217	0,0370	0,8037
3	30,3345	2,9868	0,0421	0,7810
4	30,1367	3,3770	0,0447	0,7837

As estimativas da Tabela 5 e os resultados da Figura 1 sugerem uma aplicação de teste de identidade de modelos. Entretanto, conforme Campos e Leite (2009), quando o objetivo é a geração de estimativas de S por parcela e posterior inclusão deste S em modelos de crescimento e produção, os feixes de curvas não devem ser muito generalizados. Se o objetivo fosse mapear a área em classes de local, um único feixe poderia ser gerado para as quatro regiões, ou, pelo menos, esta alternativa deveria ser avaliada.

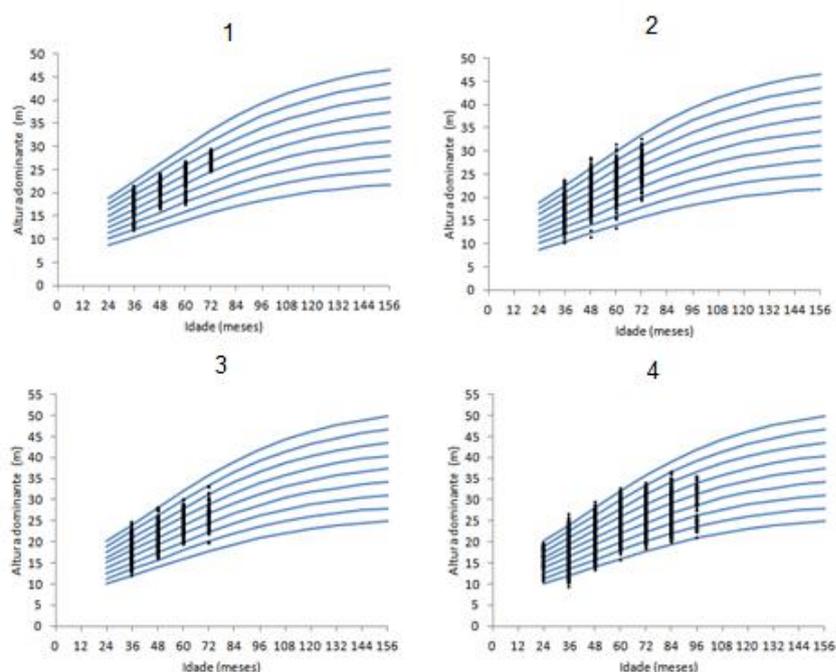


Figura 1 - Curvas de índices de local para clones de eucalipto em quatro regiões do Estado de Minas Gerais, para uma idade-índice de 72 meses.

## 4.2 – Modelagem do Crescimento e da Produção

### Alternativa 1

Os sistemas de equações selecionados para cada região empregando a primeira alternativa de modelagem, encontram-se na Tabela 6. Todas as estimativas apresentadas nesta tabela foram significativas pelo teste  $t$  ( $p < 0.01$ ). Nas Figuras 2 e 4 são apresentados os gráficos do desvio em porcentagem da área basal e volume e nas Figuras 3 e 5 são apresentadas as distribuições de frequência em porcentagem por classe de erro. Estas figuras mostram uma distribuição dos resíduos aproximadamente normal para todas as regiões. Para área basal foram obtidas estimativas de erro entre  $\pm 10\%$  em: 97% dos casos na região 1, 95% na região 2, 93% na região 3 e 97% na região 4. O percentual de casos com erro de volume de  $\pm 20\%$  foi: 91% das vezes na região 1, 94% na região 2, 93% na região 3 e 95% na região 4. Essas faixas foram definidas por serem faixas de resíduos aceitáveis em nível de parcela permanente.

O modelo de Clutter na sua forma mais usual (Código 25 na Tabela 3) foi mais eficiente apenas para a região 1, comprovando que é possível obter melhores ajustes com outras relações funcionais definidas a partir do modelo de Clutter (1963), conforme encontrado também por Salles (2010).

O coeficiente  $\alpha_1$  foi negativo para as regiões 1 e 4. A presença desse coeficiente negativo pode resultar em inconsistência quando da aplicação do modelo, a menos que em módulo ele seja relativamente pequeno. Para a região 1 o sinal deste coeficiente pode resultar em inconsistência ao se fazer extrapolações (Figura 6). Para as regiões 2 e 3 houve tendência de superestimar (estimativas não factíveis) para idades acima de cinco anos. Em parte este tipo de inconsistência ao aplicar um modelo, ocorre pela limitação dos dados e número de medições das parcelas permanentes. Essas extrapolações foram feitas neste estudo apenas para verificar o efeito do sinal negativo na variável  $\alpha_1(1-l_1/l_2)y$ ,

neste caso  $y=S_1$ , sobre a consistência das estimativas de produção em relação às classes de local. Neste estudo foi objetivo avaliar o fato e não a causa de valores negativos para  $\alpha_1$  no modelo de Clutter. Apesar disso, uma possível causa para o sinal negativo para  $\alpha_1$ , em  $\alpha_1(1-I_1/I_2)S$ , é alguma inconsistência na relação entre área basal e índice de local.

Os resultados da Tabela 6 mostram e comprovam que ao ajustar o modelo de Clutter é necessário avaliar a significância dos coeficientes, da equação de produção e volume desde a sua forma completa, sugerida originalmente por Clutter (1963).

A opção por apresentar dois tipos de análises gráficas de resíduos neste estudo ocorreu para demonstrar a limitação que pode ocorrer ao interpretar a análise mais usual. Quando o número de casos for muito grande uma análise gráfica onde os resíduos são plotados em função de alguma variável dependente (ou independente) pode levar a conclusões equivocadas. Isto pode ser confirmado observando os gráficos construídos para a região 1 nas Figuras 2 e 3. Pela Figura 2 o leitor pode visualizar que o modelo está subestimando a área basal em locais de baixa densidade. Entretanto, ao observar a Figura 3, verifica-se isso não está acontecendo. O problema na Figura 2 é que devido à ocorrência de pontos sobre pontos, fica impossível concluir sobre viés de forma eficiente. Isto acontece com grande frequência, resultando em interpretações equivocadas na literatura pertinente. Para casos onde existam muitos dados, os gráficos da Figura 3 são mais eficientes. Assim, neste estudo, para todas as alternativas de modelagem são apresentados os dois tipos de gráficos.

Tabela 6 – Sistemas de equações selecionados para povoamentos de clones de eucalipto localizados em quatro regiões do Estado de Minas Gerais empregando a alternativa 1 de modelagem da área basal.

Código do Modelo conforme Tabela 3	Modelo	Região	$\hat{\alpha}_0$	$\hat{\alpha}_1$	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	R <sup>2</sup>
25	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \varepsilon_i$	1	4.6420	-0.0508	1.0323	-4.9229	0.0103	1.4054	-	-	-	0.8371
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$											0.9106
9	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \varepsilon_i$	2	2.7454	0.0240	4.0455	-49.6111	-	-	-	0.0271	-	0.9055
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_3 S_1 LnB_2 + \varepsilon_i$											0.9181
7	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \varepsilon_i$	3	3.4271	0.0103	2.2631	-27.5316	-	1.0015	-	0.0073	-	0.8946
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_3 S_1 LnB_2 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$											0.9294
13	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) S_1 + \varepsilon_i$	4	3.6909	-0.0113	2.0075	-	-	0.8126	-0.7975	0.0169	-	0.9063
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_3 S_1 LnB_2 + \beta_3 S_1 + \varepsilon_i$											0.9549

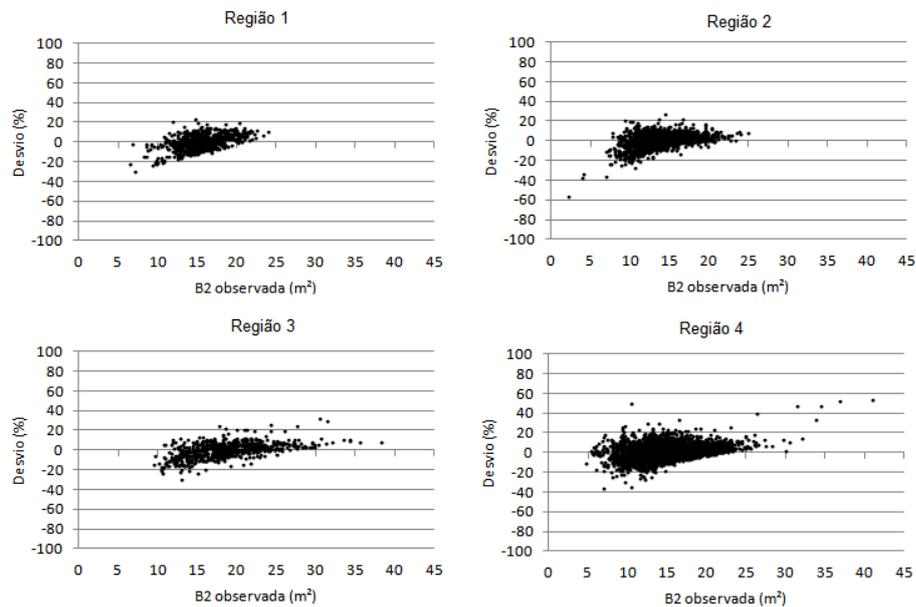


Figura 2 – Resíduos percentuais das estimativas de área basal obtidas pela alternativa de modelagem 1 para cada região.

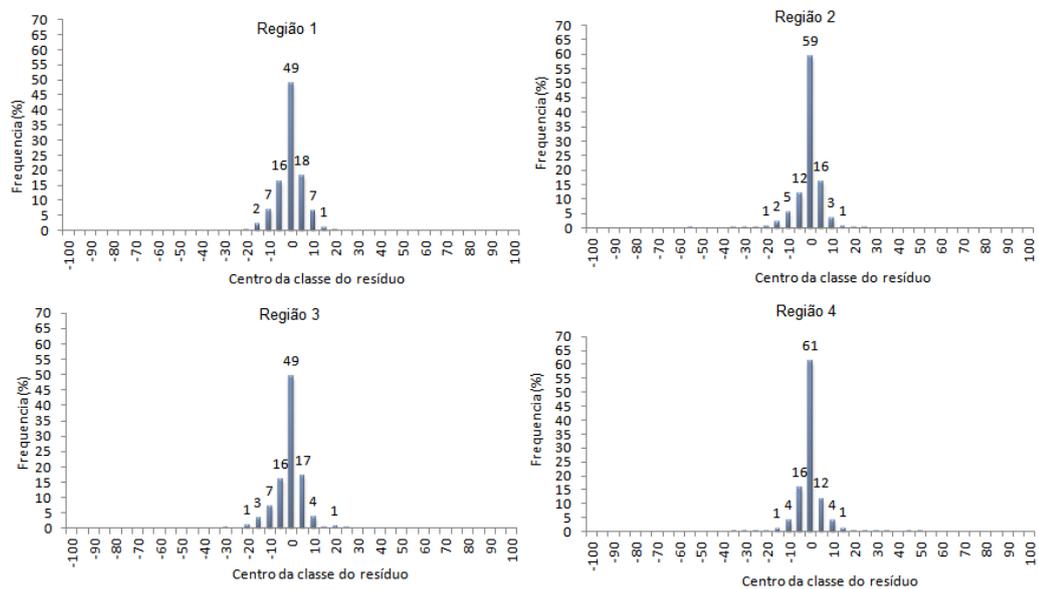


Figura 3 – Distribuição de frequência dos resíduos da área basal estimada pela alternativa 1 para cada região.

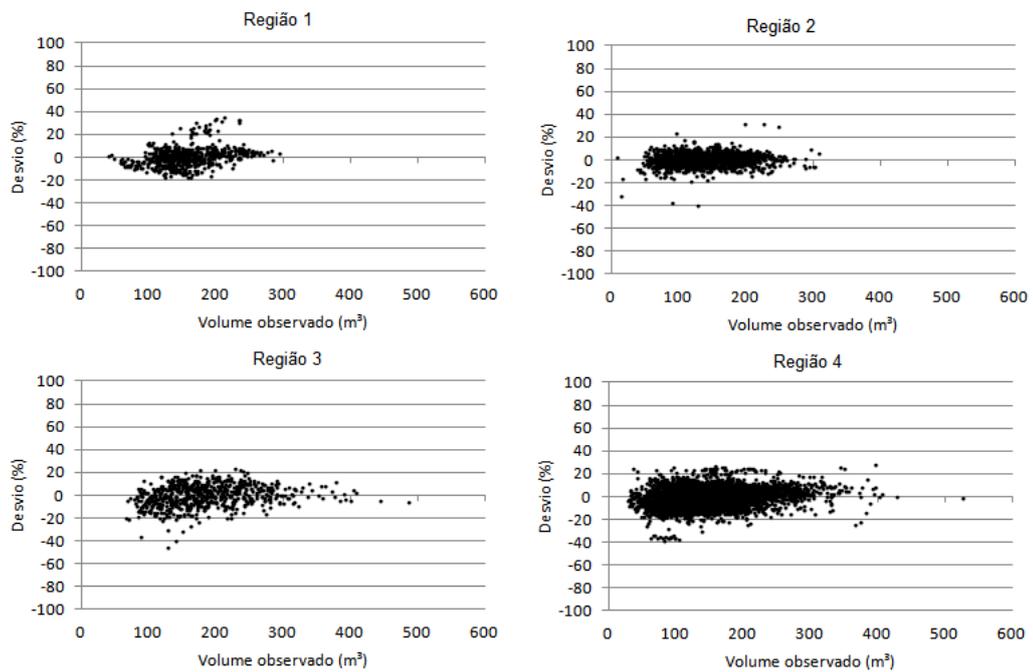


Figura 4 – Resíduos percentuais das estimativas de volume obtidas pela alternativa de modelagem 1 para cada região.

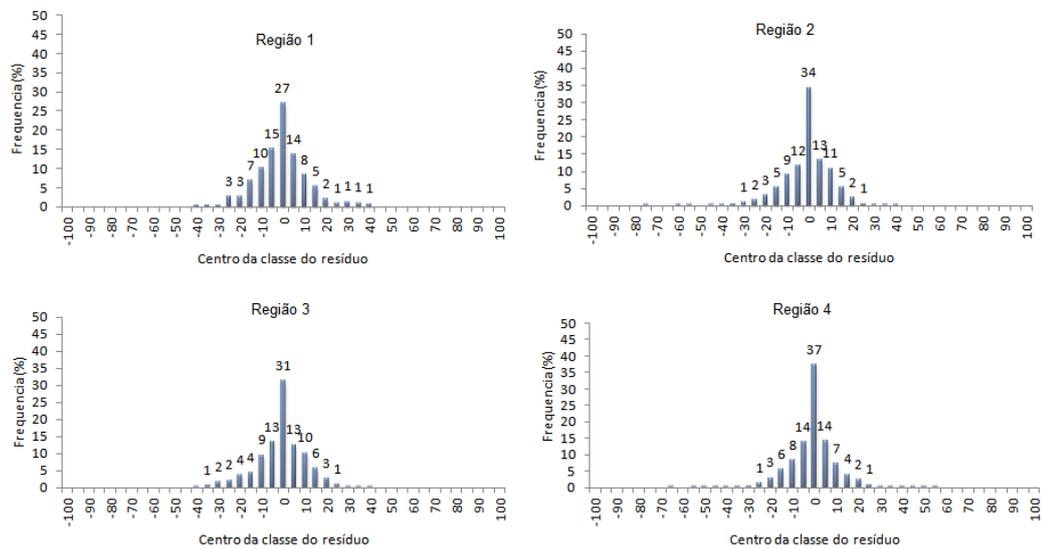


Figura 5 – Distribuição de frequência dos resíduos do volume estimado pela alternativa 1 para cada região.

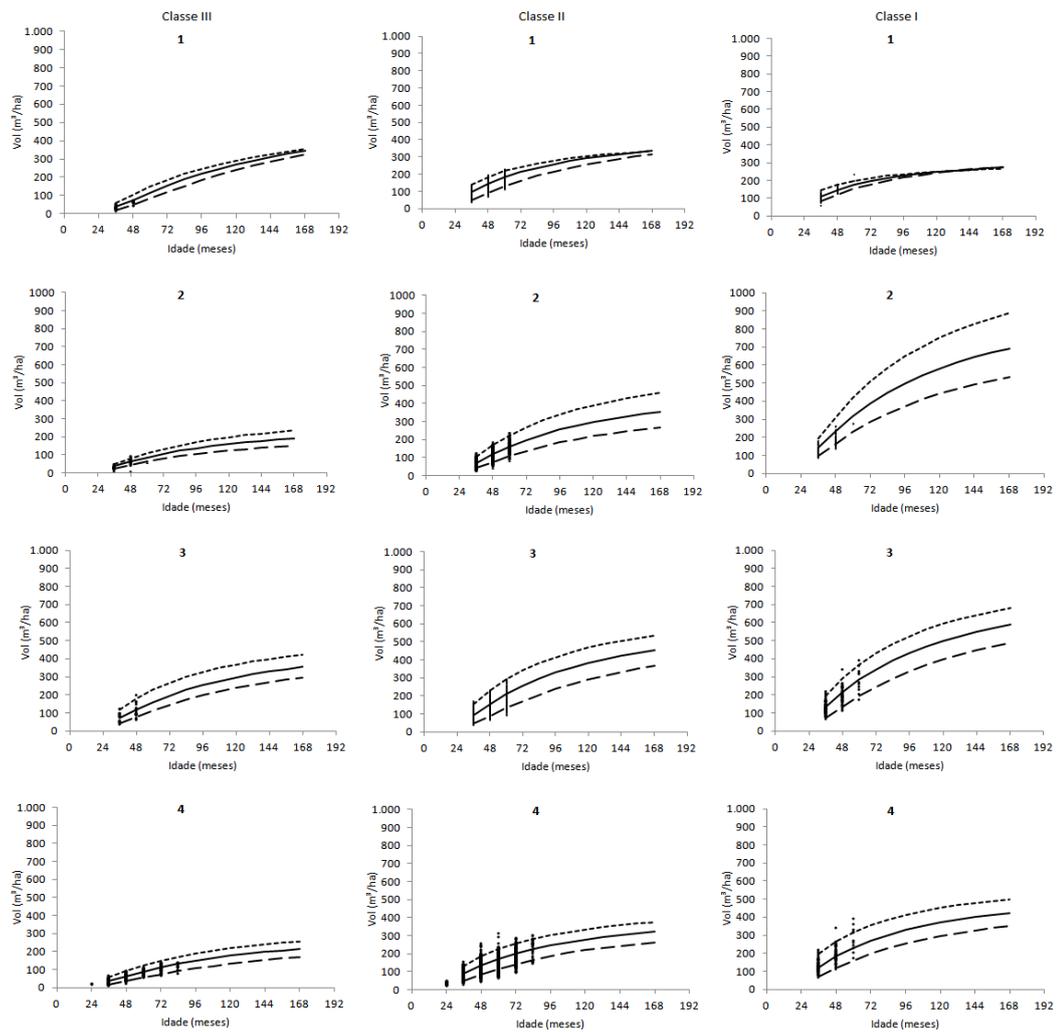


Figura 6 – Curvas de produção ( $m^3ha^{-1}$ ) para eucalipto em quatro regiões para classes de local I (capacidade produtiva alta), II (capacidade produtiva média) e III (capacidade produtiva baixa), pela alternativa de modelagem 1.

## Alternativa 2

Os sistemas de equações selecionados para cada região para a alternativa 2 de modelagem encontram-se na Tabela 9. Todas as estimativas apresentadas nesta tabela foram significativas pelo teste  $t$  ( $p < 0.01$ ). A única diferença em relação à alternativa 1 é a substituição de  $S_1$  por  $Hd_1$  na equação de área basal. Assim como na alternativa 1, os resíduos apresentaram distribuição com tendência para normal (Figuras 8 e 10). Nas regiões 1 a 4, a porcentagem de casos com erros nas estimativas de área basal em  $\pm 10\%$  foram, respectivamente, 96, 97, 92 e 97%. Nessas mesmas regiões, as estimativas de volume ficaram em  $\pm 20\%$  de erro em 98, 100, 100 e 100%. A porcentagem de casos com erros entre  $\pm 10$  nas estimativas de volume são apresentadas na Tabela 8. Com base nessa tabela, verifica-se que a alternativa de modelagem 2 foi muito mais eficiente do que a alternativa 1 em todas as regiões. Resíduos entre  $\pm 10\%$  para estimativas de produção em nível de parcelas podem ser consideradas como de alta precisão.

Novamente, em duas regiões a forma mais usual do modelo de Clutter não foi a mais eficiente e o coeficiente  $\alpha_1$  negativo não resultou em inconsistência quando feitas extrapolações até a idade de 192 meses (Tabela 9 e Figura 11). A maior eficiência da alternativa 2 foi resultado da simples substituição da variável  $y=S$  pela variável  $y=Hd_1$  em  $\alpha_1(1-I_1/I_2)y$ . Embora não tenha sido quantificado, é possível inferir que a diferença de precisão é devida, em parte, ao erro na classificação da capacidade produtiva, onde também é empregado um modelo de regressão.

Tabela 7 – Porcentagem de casos com resíduos do volume (erros de projeção) entre o intervalo de  $\pm 10\%$  para cada Região.

Região	Alternativa 1 (%)	Alternativa 2 (%)
1	74	94
2	79	99
3	76	90
4	80	96

Tabela 8 – Sistemas de equações selecionados para povoamentos de clones de eucalipto localizados em quatro regiões do Estado de Minas Gerais empregando a alternativa 2 de modelagem da área basal.

Código do Modelo de acordo com a Tabela 3	Modelo	Região	$\hat{\alpha}_0$	$\hat{\alpha}_1$	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	R <sup>2</sup>
25	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_1 + \varepsilon_i$	1	3.9671	-0.0276	1.0323	-4.9229	0.0103	1.4054	-	-	-	0.8276
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$											0.9106
25	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_1 + \varepsilon_i$	2	2.7611	0.0297	1.3619	-24.5775	0.0293	1.2280	-	-	-	0.9095
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$											0.9780
10	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_1 + \varepsilon_i$	3	3.8204	-0.0078	1.2549	-	0.0426	1.1713	-1.1390	-	-	0.8944
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$											0.9276
10	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_1 + \varepsilon_i$	4	3.5748	-0.0080	0.9969	-	0.0448	1.1989	-0.8161	-	-	0.9058
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$											0.9576

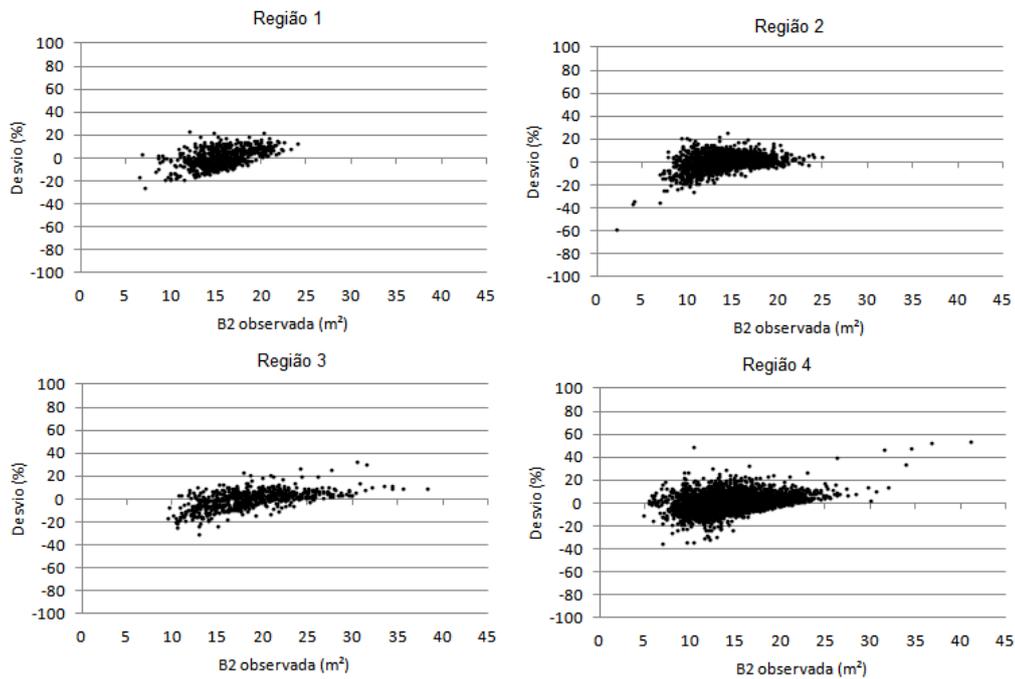


Figura 7 - Gráficos dos desvios em porcentagem da área basal estimada pela alternativa 2 *versus* a área basal observada para cada Região

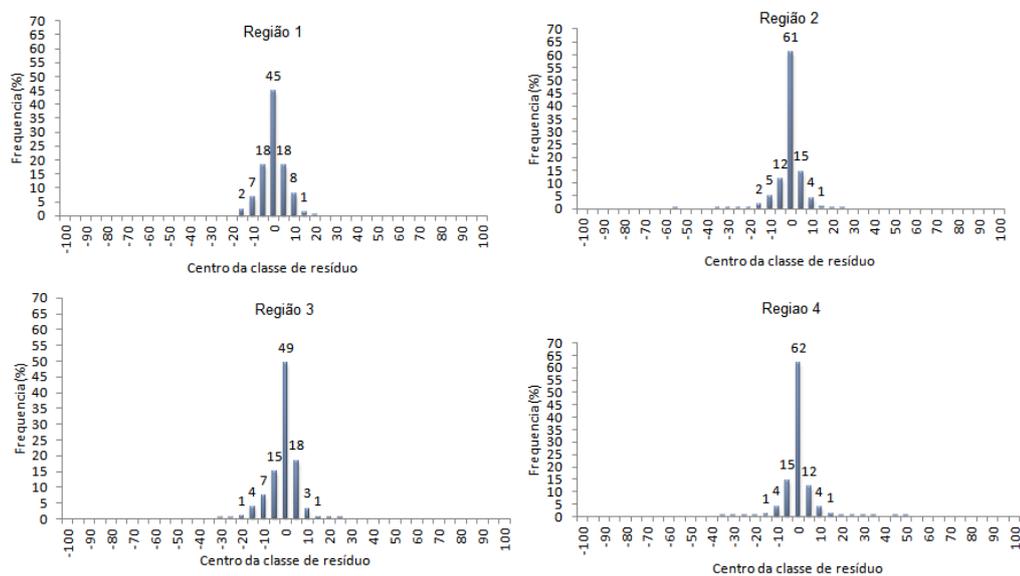


Figura 8 - Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo da área basal estimada pela alternativa 2 para cada região.

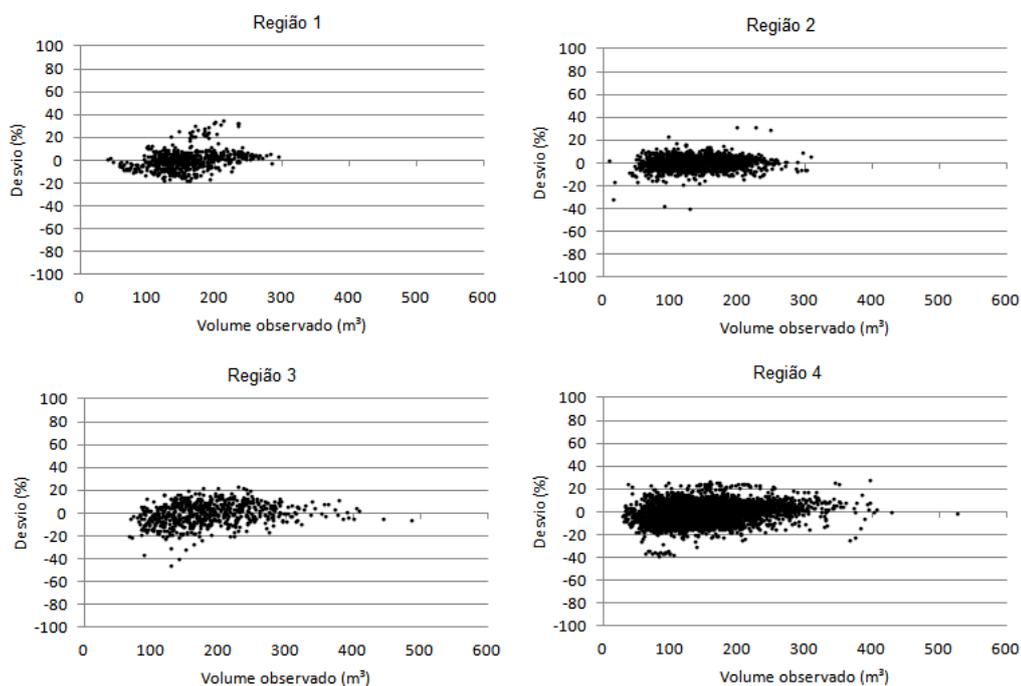


Figura 9 – Gráficos dos desvios em porcentagem do volume estimado pela alternativa 2 versus o volume observado para cada Região.

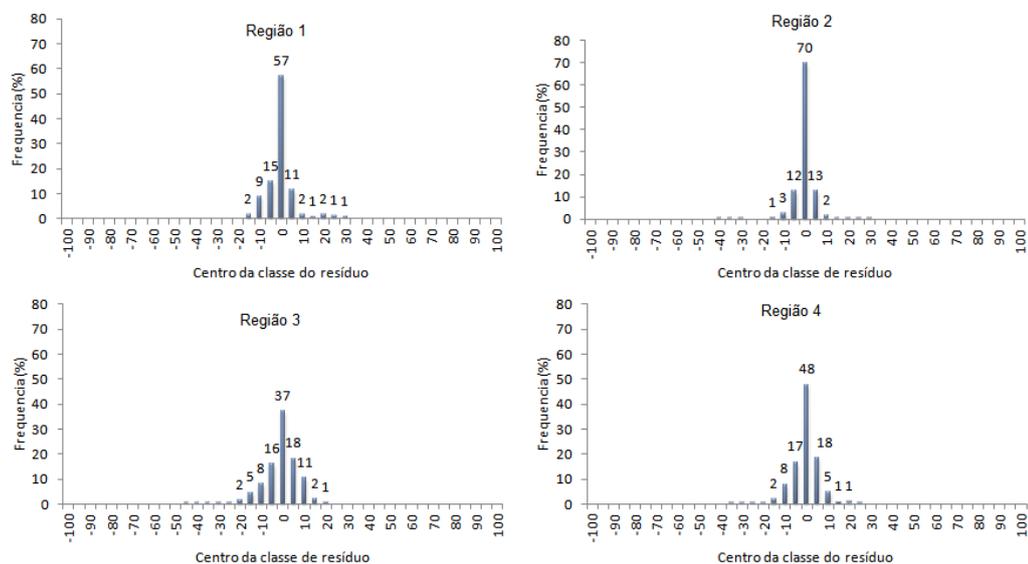


Figura 10 – Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo do volume estimado pela alternativa 2 para cada região.

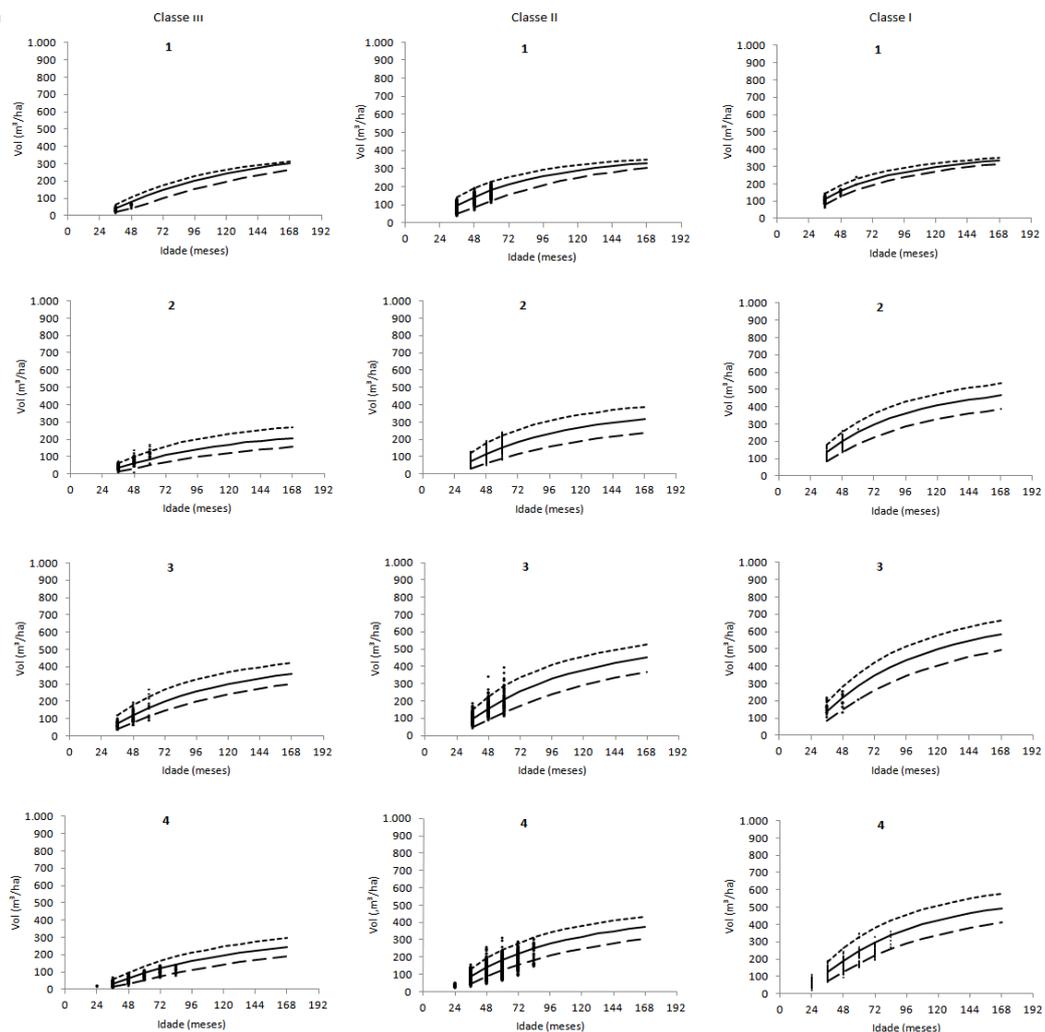


Figura 11 – Curvas de produção ( $m^3ha^{-1}$ ) de classes de local I (capacidade produtiva alta), II (capacidade produtiva média), III (capacidade produtiva baixa) para eucalipto em quatro regiões no estado de Minas Gerais, para a alternativa 2.

### Alternativa 3

Os sistemas de equações selecionados para cada região pela terceira alternativa de modelagem encontram-se na Tabela 9. Todas as estimativas apresentadas nesta tabela foram significativas pelo teste  $t$  ( $p < 0.01$ ). Nas Figuras 12 e 14 são apresentados os gráficos do desvio em porcentagem da área basal e do volume e nas Figuras 13 e 15 são apresentadas as distribuições de freqüência em porcentagem por classe de erro. Estas Figuras mostram uma distribuição com tendência para a normalidade nas quatro regiões. Para as estimativas da área basal, entre as classes de resíduo  $\pm 10$  foram encontradas 96% das estimativas para a região 1, 95% para a região 2, 94% para a região 3 e 97% para a região 4. Para estimativas do volume, entre as classes de resíduo  $\pm 20$  foram encontradas 92% das estimativas para a região 1, 98% para a região 2, 95% para a região 3 e 95% para a região 4.

O modelo de Clutter na sua forma mais usual (código 25 na Tabela 3) foi selecionado apenas para a região 2, demonstrando novamente a necessidade de testar diferentes relações funcionais para a equação do modelo usual de Clutter. Os sinais negativos encontrados nesta alternativa 3 não resultaram em inconsistências em relação às classes de local. Entretanto, novamente ficou confirmada a fragilidade dos dados da região 2 (Figura 16). Ou seja, o dado usado como input resulta em uma tendência de crescimento muito acentuado a partir de 6 a 8 meses. Com a realização de novos inventários e atualizações das equações, maior consistência é esperada.

Tabela 9 - Sistemas de equações selecionados para povoamentos de clones de eucalipto localizados em quatro regiões do Estado de Minas Gerais empregando a alternativa 3 de modelagem da área basal.

Código do Modelo de acordo com a Tabela 3	Modelo	Região	$\hat{\alpha}_0$	$\hat{\alpha}_1$	$\hat{\alpha}_2$	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	R <sup>2</sup>
7	$LnHd_2 = LnHd_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \varepsilon_i$	1	3.6203	3.7051	-0.0119	1.4064	-3.7562	-	1.1899	-	0.0067	-	0.7328
	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_2 + \varepsilon_i$												0.8133
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_3 S_1 LnB_2 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$												0.9065
25	$LnHd_2 = LnHd_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \varepsilon_i$	2	3.6099	2.7723	0.0248	1.5566	-25.9560	0.0304	1.1537	-	-	-	0.8869
	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_2 + \varepsilon_i$												0.9166
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$												0.9766
13	$LnHd_2 = LnHd_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \varepsilon_i$	3	3.7196	3.4412	0.0101	2.2821	-	-	0.7606	-0.9340	0.0157	-	0.5151
	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_2 + \varepsilon_i$												0.8956
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_3 S_1 LnB_2 + \beta_3 S_1 + \varepsilon_i$												0.9222
10	$LnHd_2 = LnHd_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_2 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \varepsilon_i$	4	3.7350	3.5854	-0.0072	1.0840	-	0.0498	1.1315	-0.8798	-	-	0.8592
	$LnB_2 = LnB_1 \left( \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_0 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) + \alpha_1 \left( 1 - \frac{I_1}{I_2} \right) Hd_2 + \varepsilon_i$												0.9030
	$LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_2 S_1 + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$												0.9568

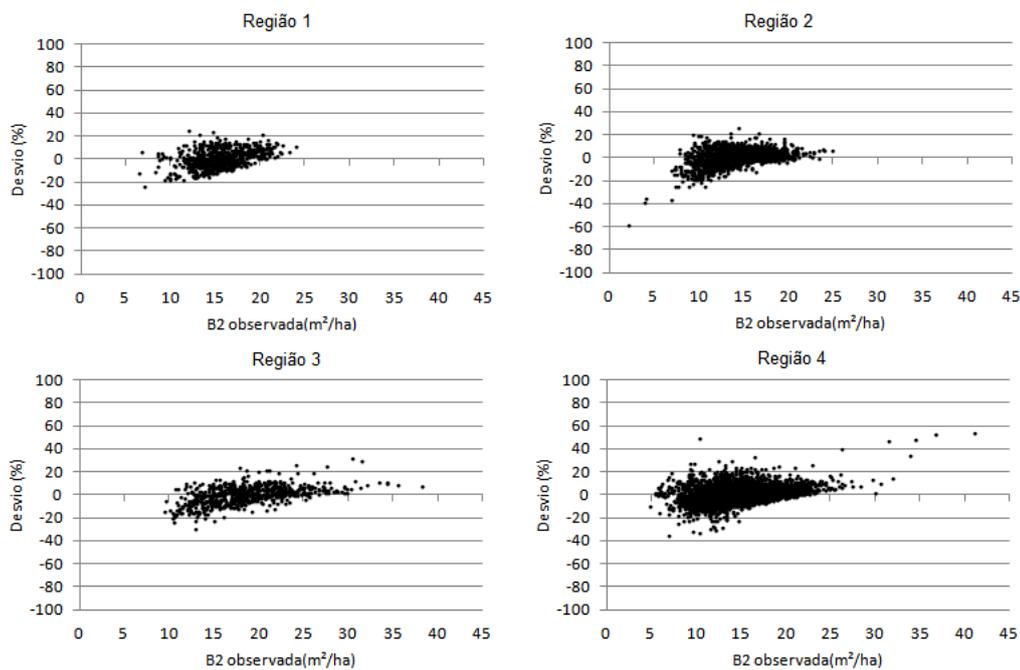


Figura 12 - Gráficos dos desvios em porcentagem da área basal estimada pela alternativa 3 *versus* a área basal observada para cada região.

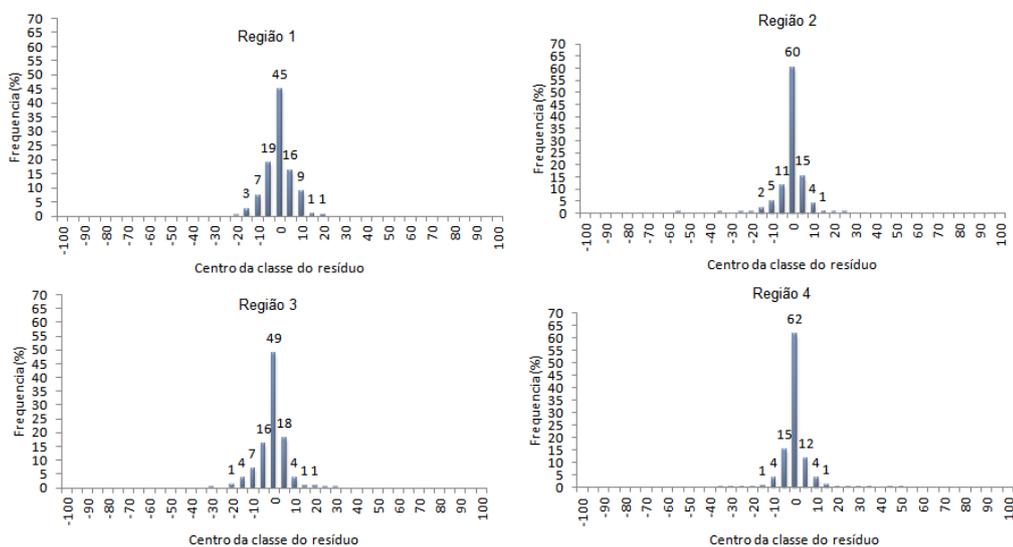


Figura 13 - Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo da área basal estimada pela alternativa 3 para cada região.

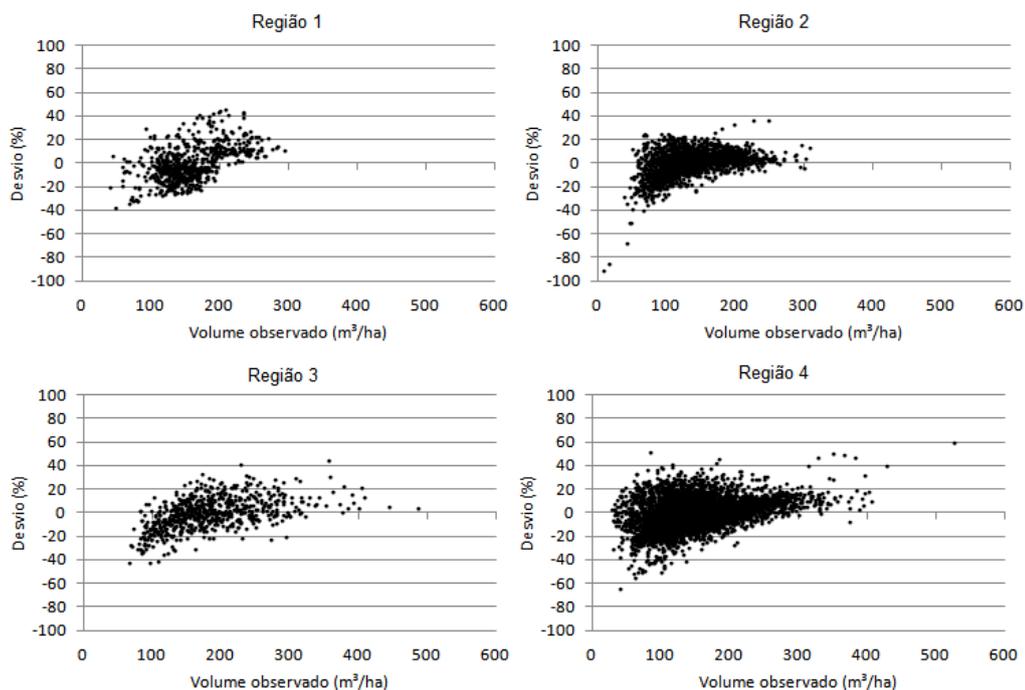


Figura 14 – Gráficos dos desvios em porcentagem do volume estimado pela alternativa 3 *versus* o volume observado para cada região.

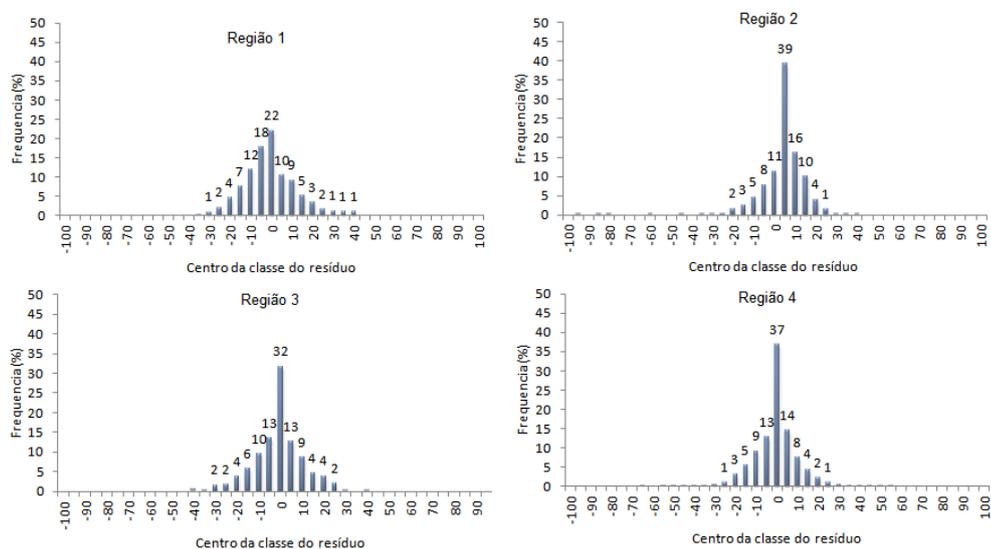


Figura 15 – Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo do volume estimado pela alternativa 3 para cada região.

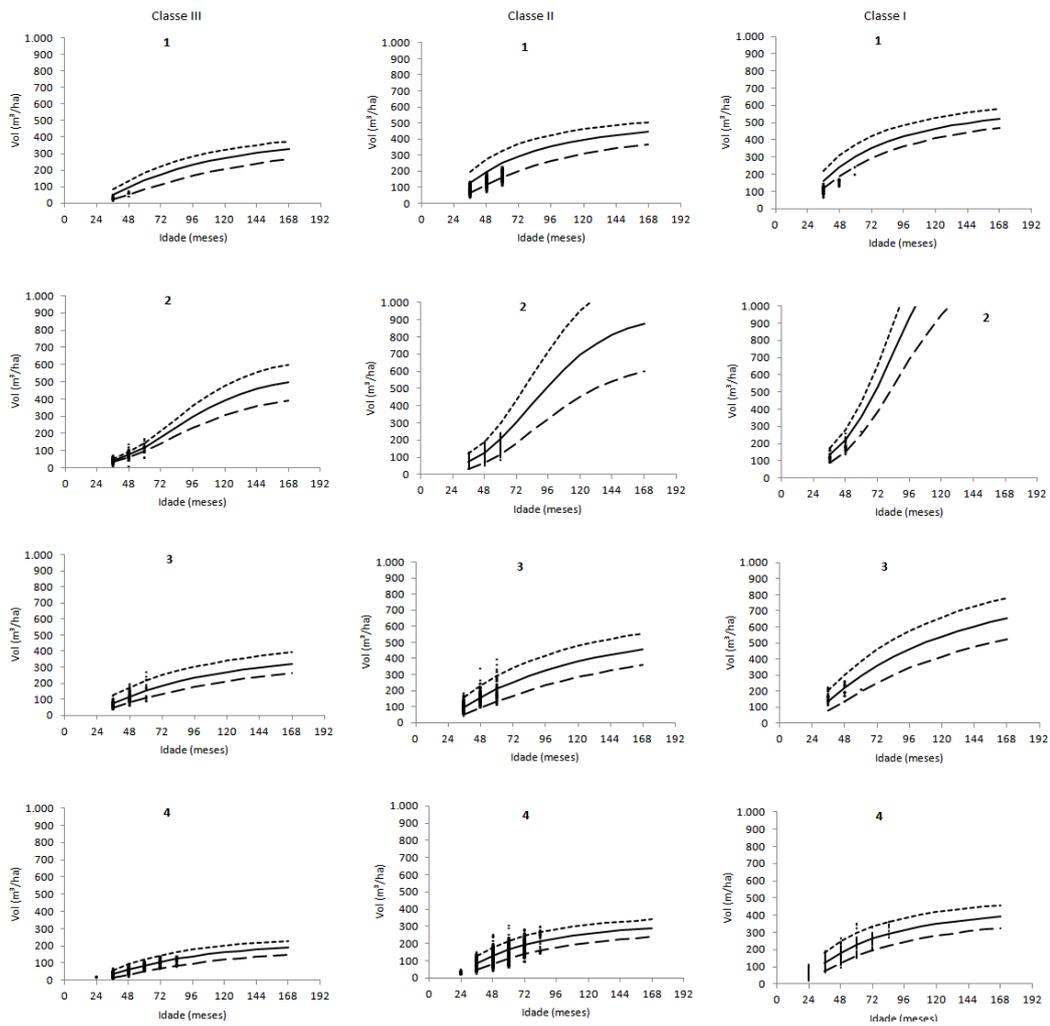


Figura 16 – Curvas de produção ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ) de classes de local I (capacidade produtiva alta), II (capacidade produtiva média), III (capacidade produtiva baixa) para eucalipto em quatro regiões no estado de Minas Gerais, para a alternativa 3.

#### **Alternativa 4**

Os sistemas de equações selecionados para cada região, pela alternativa de modelagem 4 encontram-se na Tabela 11, onde as estimativas apresentadas foram todas significativas ( $p < 0.01$ ).

Nas Figuras 17 e 19 são apresentados os gráficos do desvio em porcentagem da área basal e volume e nas Figuras 18 e 20 são apresentadas as distribuições de freqüência em porcentagem por classe de resíduo. Para as estimativas da área basal, entre as classes de resíduo  $\pm 10$ , foram encontradas 96% dos casos de projeção para a região 1, 96% para a região 2, 92% para a região 3 e 97% para a região 4. Para estimativas do volume, entre  $\pm 20$  de erro foram encontradas 91% das estimativas para a região 1, 94% para a região 2, 93% para a região 3 e 95% para a região 4.

O modelo de Clutter na sua forma mais usual não foi selecionado para nenhuma das quatro regiões e isto comprova novamente a necessidade de testar diferentes configurações do referido modelo, conforme sugerido originalmente por Clutter (1963).

As estimativas de produção obtidas para as regiões 2 e 3, para idade acima de cerca de 6 anos, para cada classe de local I, são improváveis. Este é uma visão natural de extrapolação, para a faixa de idades contemplada nos dados e para 1 ou 2 anos de extrapolação, praticamente todos os modelos ajustados neste estudo geraram estimativas factíveis, com exceção da alternativa de modelagem 3 para a região 2 (Figura 16).

Tabela 10 - Sistemas de equações selecionados para povoamentos de clones de eucalipto localizados em quatro regiões do Estado de Minas Gerais empregando a alternativa 4 de modelagem da área basal.

Código do Modelo de acordo com a Tabela 3	Modelo	Região	$\hat{\sigma}_0$	$\hat{\sigma}_1$	$\hat{\sigma}_2$	$\hat{\sigma}_3$	$\hat{\sigma}_4$	$\hat{\sigma}_5$	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	R <sup>2</sup>
13	$B_{2,final} = B_{1,obs} + Inc_{(1-2)}$ $LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_3 S_1 + \varepsilon_i$	1	2.1638	-40.0320	0.0554	2.7580	-43.2653	0.0325	1.9451	-	-	1.0538	-0.6885	0.0078	-	0.8707
																0.8481
13	$B_{2,final} = B_{1,obs} + Inc_{(1-2)}$ $LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_3 S_1 + \varepsilon_i$	2	1.9169	-37.2652	0.0594	2.2226	-43.3692	0.0513	1.9819	-	-	0.8768	-0.9000	0.0151	-	0.8875
																0.9633
13	$B_{2,final} = B_{1,obs} + Inc_{(1-2)}$ $LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_5 S_1 LnB_2 + \beta_3 S_1 + \varepsilon_i$	3	2.7132	-40.6904	0.0403	2.8411	-38.4645	0.0333	1.7779	-	-	1.0527	-0.8381	0.0102	-	0.6789
																0.9385
16	$B_{2,final} = B_{1,obs} + Inc_{(1-2)}$ $LnV_2 = \beta_0 + \beta_4 S_1 I_2^{-1} + \beta_3 LnB_2 + \varepsilon_i$	4	2.0620	-34.5924	0.0502	2.3160	-34.0406	0.0405	0.5318	-	-	1.6610	-0.0842	-	-	0.8689
																0.9215

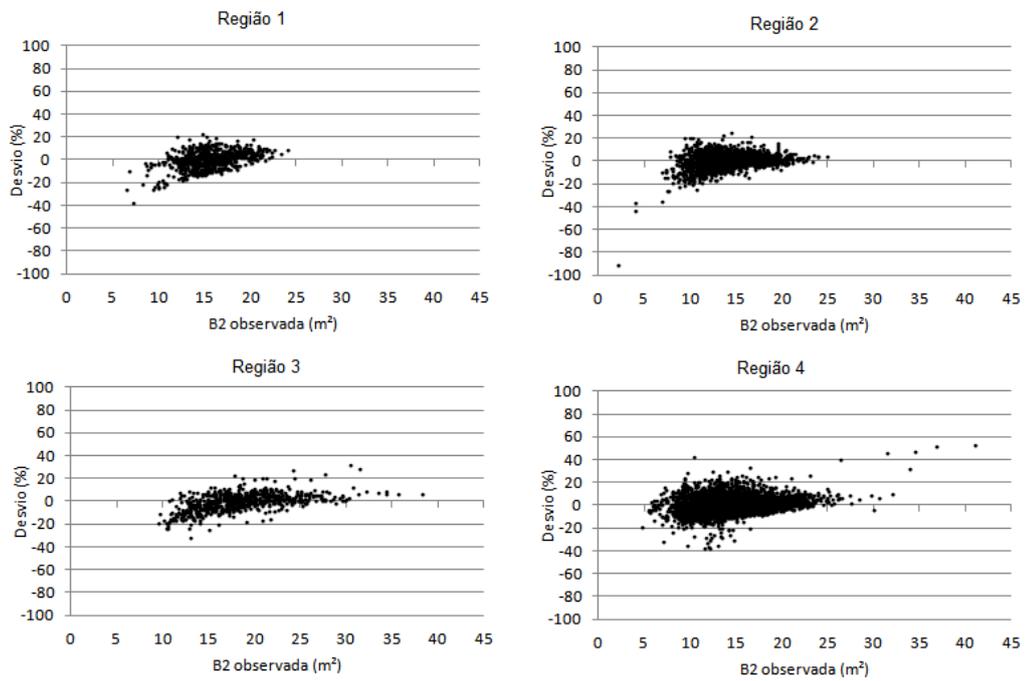


Figura 17 - Gráficos dos desvios em porcentagem da área basal estimada pela alternativa 4 *versus* a área basal observada para cada região.

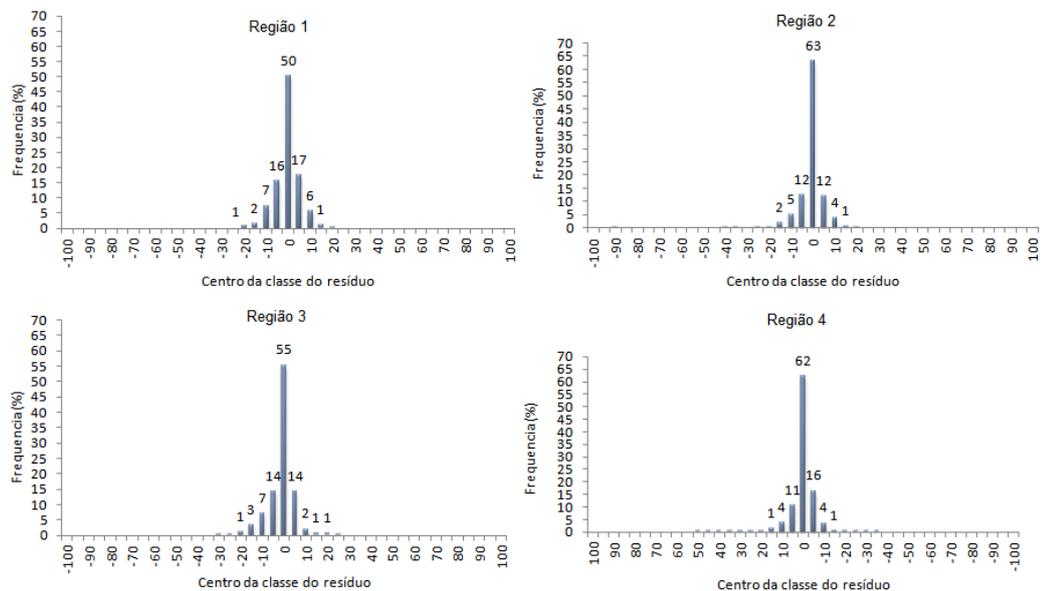


Figura 18 - Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo da área basal estimada pela alternativa 4 para cada região.

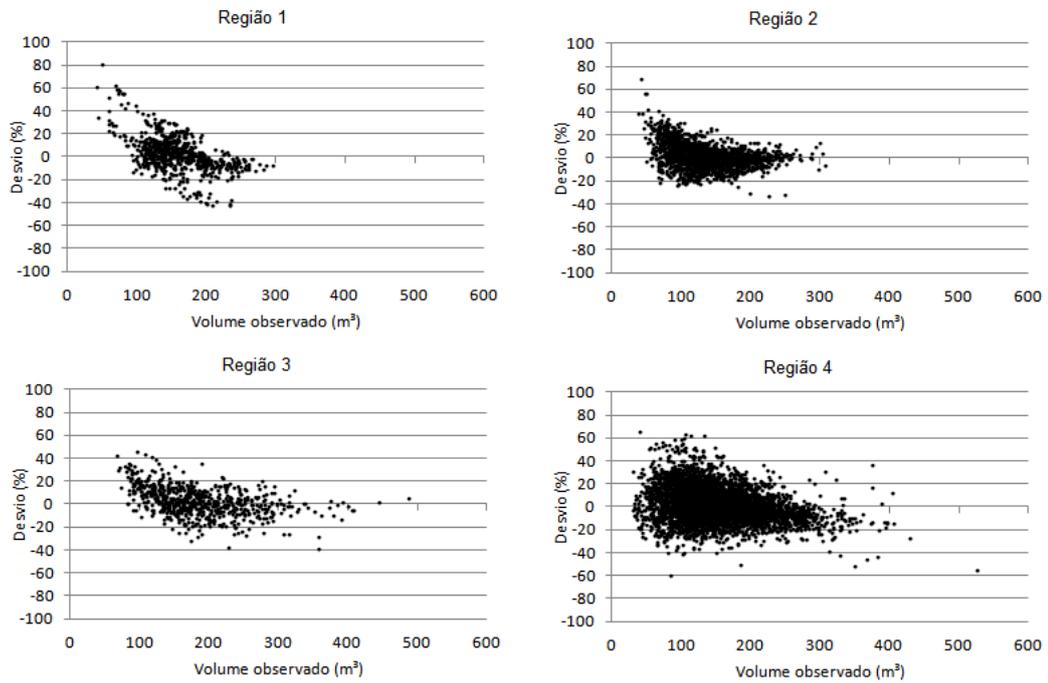


Figura 19 – Gráficos dos desvios em porcentagem do volume estimado pela alternativa 4 *versus* o volume observado para cada região.

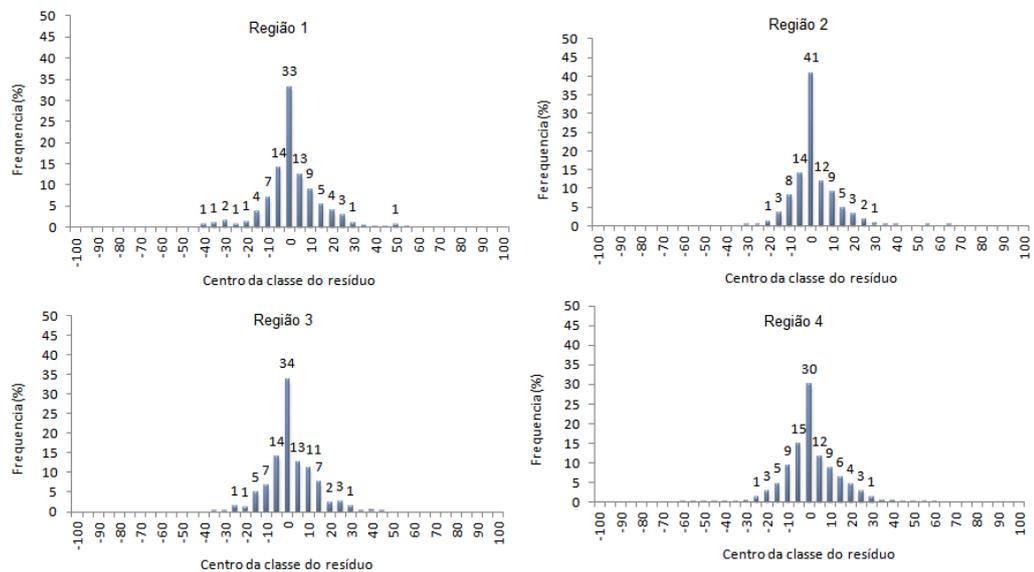


Figura 20 – Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo do volume estimado pela alternativa 4 para cada região.

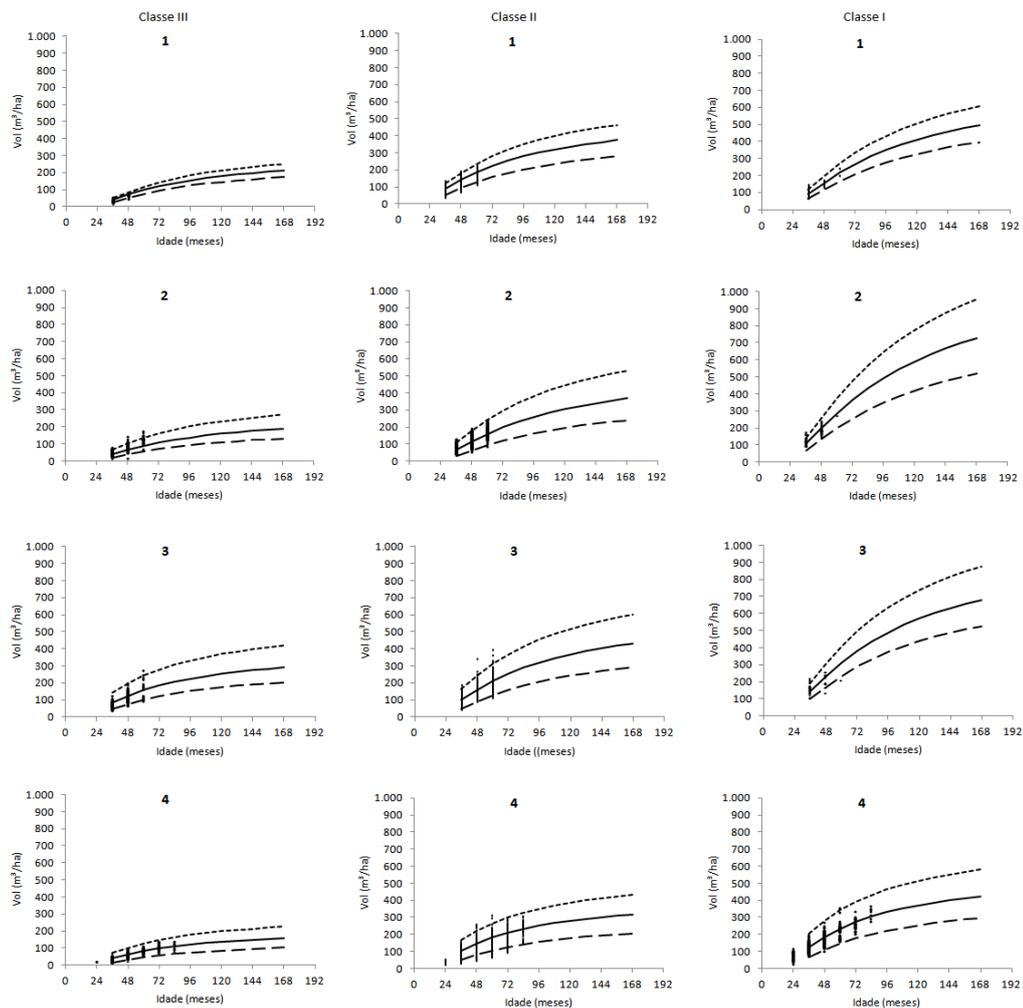


Figura 21 – Curvas de produção ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ) de classes de local I (capacidade produtiva alta), II (capacidade produtiva média), III (capacidade produtiva baixa) para eucalipto em quatro regiões no estado de Minas Gerais, para a alternativa 4.

## Alternativa 5

Os sistemas de equações selecionados para cada região, por meio desta última alternativa encontram-se na Tabela 11, com estimativas significativas para todos os coeficientes ( $p < 0.01$ ). Nas Figuras 22 e 24 são apresentados os gráficos do desvio em porcentagem da área basal e volume e nas Figuras 23 e 25 são apresentadas as distribuições de frequência em porcentagem por classe de resíduo. Estas figuras mostram uma distribuição aproximadamente normal dos resíduos para todas as regiões e os percentuais de casos com erro de  $\pm 10\%$  em área basal foram: 87% para a região 1, 91% para a região 2, 86% para a região 3 e 90% para a região 4. Para as estimativas do volume os percentuais de casos com erro de  $\pm 20\%$ , foram 90, 96, 94 e 93% para essas mesmas regiões.

Com base na Figura 26, existe certo risco de extrapolação com esta alternativa 5, principalmente na classe de local I. Entretanto, uma pequena perda de precisão pode ser compensada pelo fato do modelo ajustado contemplar 100% das parcelas permanentes. Na região 2, por exemplo, os modelos ajustados pela alternativa 4 deixaram de contemplar 42.7% das parcelas. Esses 42.7% correspondem a 55.14% da área da floresta. Este é um questionamento importante, que pode ser avaliado em outros estudos por meio de simulações, ou seja, é melhor descartar parcelas com uma medição, ajustar o modelo e depois projetar as parcelas com uma medição, ou ajustar e aplicar com a alternativa 5 deste estudo?

Cabe lembrar ainda que outros modelos de predição lineares ou não lineares, podem ser testados na aplicação desta alternativa 5.

Tabela 11 - Sistemas de equações selecionados para povoamentos de clones de eucalipto localizados em quatro regiões do Estado de Minas Gerais empregando a alternativa 5 de modelagem da área basal.

Modelo	Região	$\hat{\gamma}_0$	$\hat{\gamma}_1$	$\hat{\gamma}_2$	$\hat{\gamma}_3$	$\hat{\gamma}_4$	$\hat{\gamma}_5$	$\hat{\gamma}_6$	R <sup>2</sup>
$LnB = \gamma_0 + \gamma_1 I^{-1} + \gamma_2 S + \varepsilon_i$ $LnV = \gamma_3 + \gamma_4 I^{-1} + \gamma_5 S + \gamma_6 LnB + \varepsilon_i$	1	1.8391	-36.5538	0.0646	1.1324	-19.4682	0.0401	1.2040	0.8698
									0.9840
	2	1.9032	-40.3374	0.0626	1.4354	-28.8530	0.0396	1.1394	0.8987
									0.9941
	3	2.4145	-34.8764	0.0461	1.8327	-29.2636	0.0374	1.0183	0.7248
									0.9601
	4	1.9936	-35.5359	0.0534	1.3137	-22.6512	0.0403	1.1327	0.8895
									0.9912

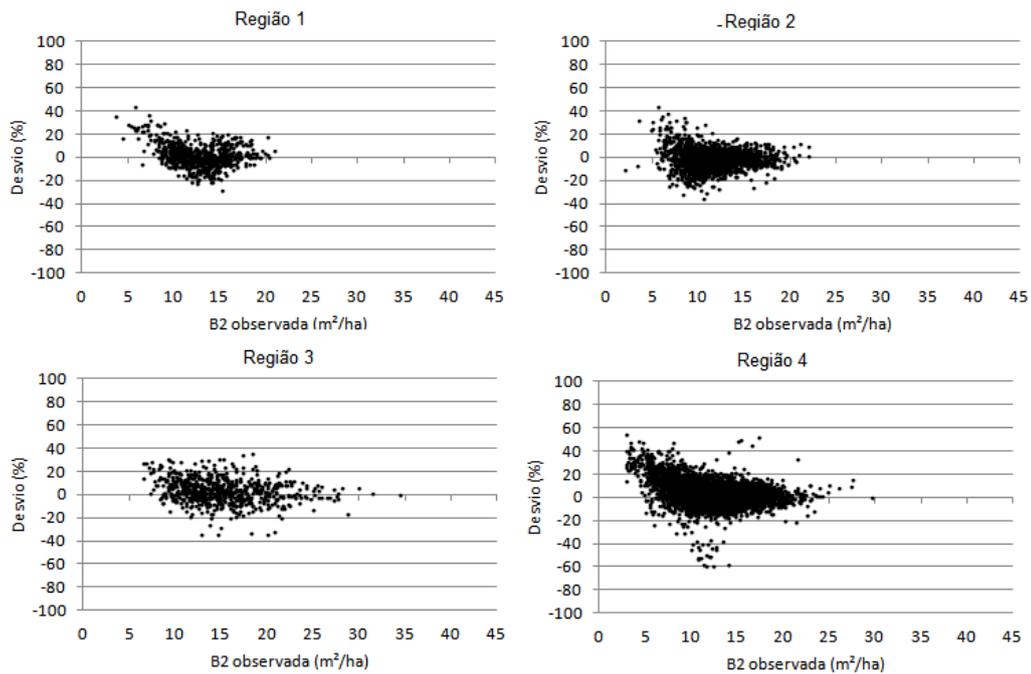


Figura 22 - Desvios em porcentagem da área basal estimada para a alternativa 5 *versus* a área basal observada em quatro regiões.

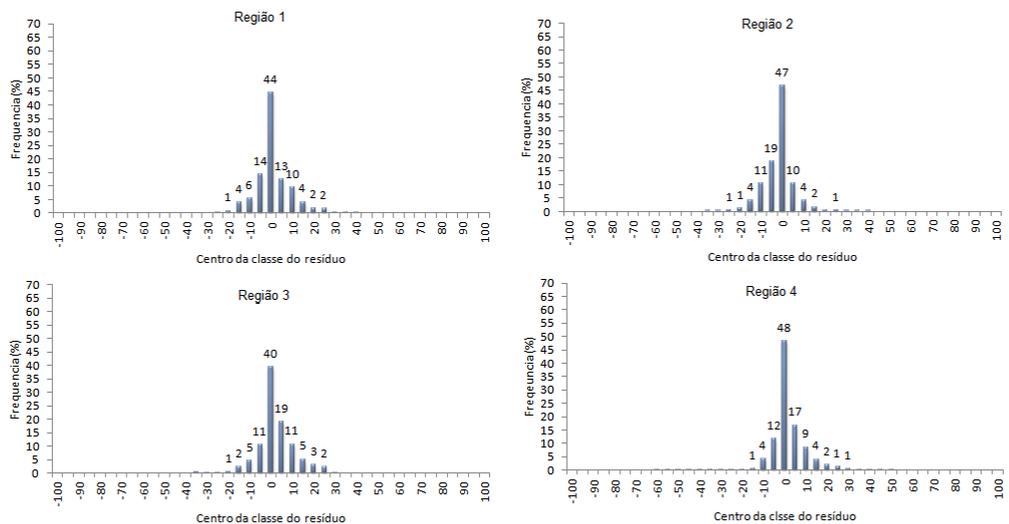


Figura 23 - Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo da área basal estimada pela alternativa 5 para cada região.

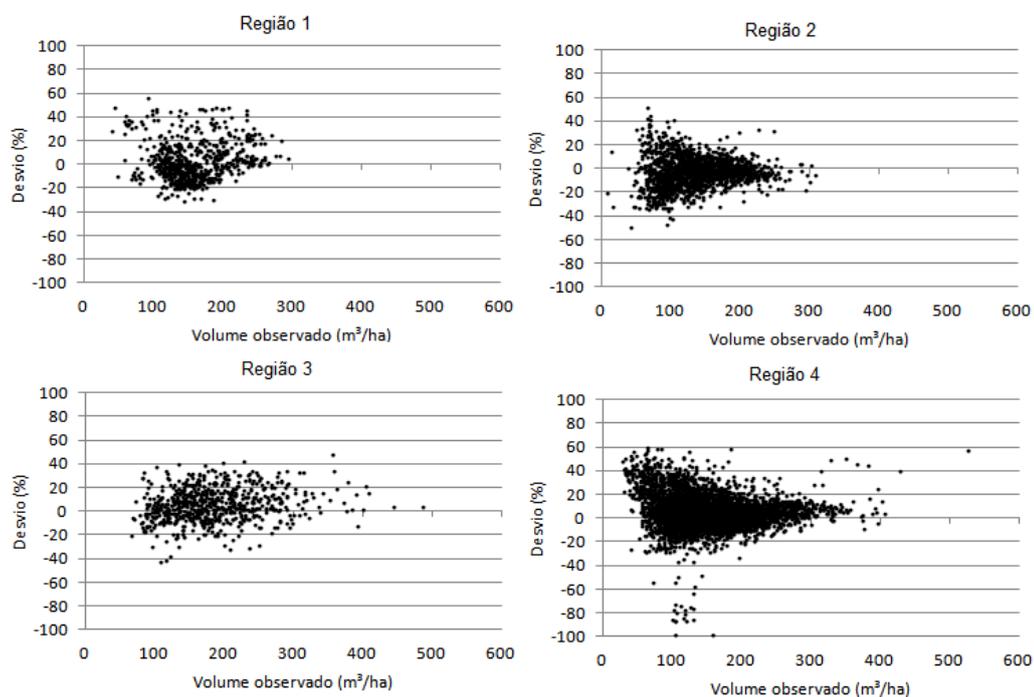


Figura 24 – Gráficos dos desvios em porcentagem do volume estimado para a alternativa 5 *versus* o volume observado para cada região.

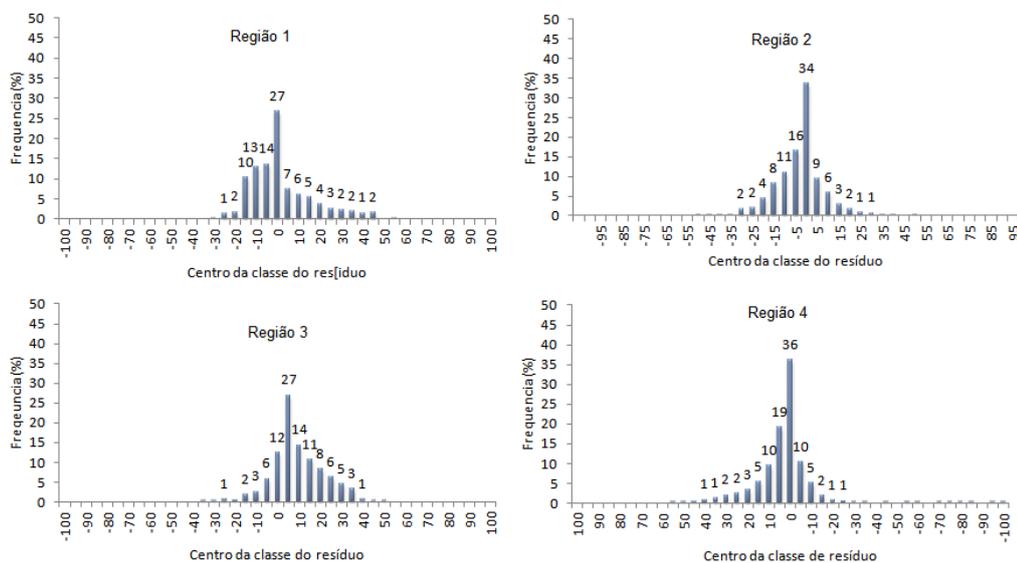


Figura 25 – Distribuição de freqüência em porcentagem do centro da classe do resíduo do volume estimado pela alternativa 5 para cada região.

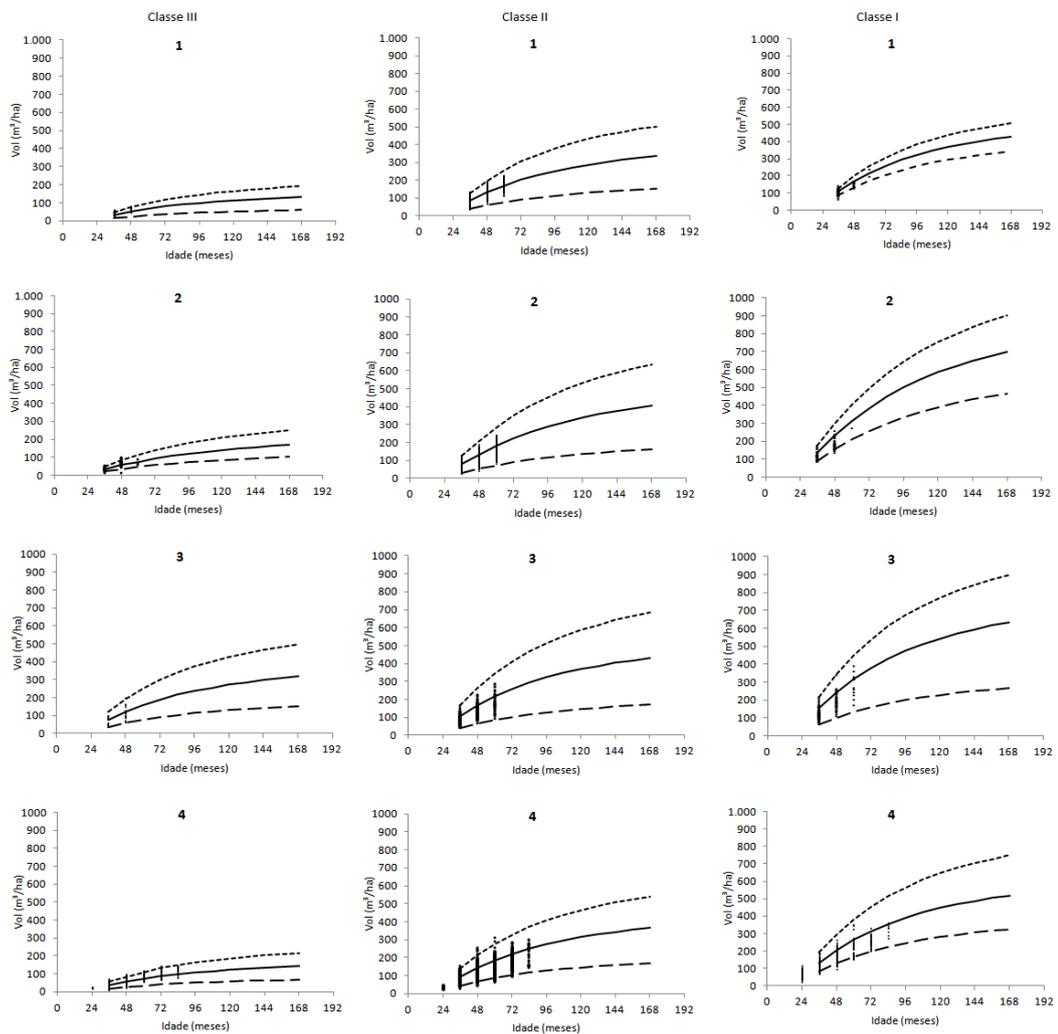


Figura 26 – Curvas de produção ( $m^3ha^{-1}$ ) de classes de local I (capacidade produtiva alta), II (capacidade produtiva média), III (capacidade produtiva baixa) para eucalipto em quatro regiões no estado de Minas Gerais, para a alternativa 5.

Na Figura 27 são apresentadas as curvas de produção em área basal e volume para a classe de local II (capacidade produtiva intermediária), para cada alternativa de modelagem. Essa figura juntamente com os resultados da Tabela 12 comprova a importância de se testar diferentes enfoques de modelagem para cada estrato da floresta de clones de eucalipto.

Em alguns casos as diferenças nas estimativas de produção foram insignificantes entre as 5 abordagens. Quando os resultados são estatisticamente iguais, o usuário pode optar pela alternativa mais simples.

A Tabela 12 contém resultados importantes para escolha da alternativa de modelagem com base na prognose. Para as regiões 1 e 3, onde os resultados de todos os ajustamentos foram mais eficientes, apesar de não ter havido grandes diferenças na idade técnica de corte (ITC), as respectivas produções diferiram bastante. No caso da classe II e região 1, a ITC foi de 5 anos para todas as cinco alternativas de modelagem, porém, a produção estimada pela alternativa 3 foi muito superior as demais. Com base nesta Tabela 12, para a região 1 a alternativa 3 seria descartada.

Além das cinco alternativas testadas, a estimação da área basal pode ser feita com o emprego de Redes Neurais Artificiais, por exemplo, do tipo *multilayerperceptron* (MLP) ou perceptron de múltiplas camadas, com variáveis de entrada  $B_1$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $Hd_1$  e estratificação por Região. Nesse caso, a área basal estimada pela RNA seria utilizada como *input* em uma das formas da equação de produção em volume da Tabela 3. A eficiência do emprego de RNA em modelagem do crescimento e da produção já foi comprovada por Silva (2010) e por isso não foi testada neste estudo. Com o uso de RNA para estimar a área basal, o modelo não deixa de ser densidade variável uma vez que  $B_1$  e  $I_1$  são *inputs* para a rede.

Na Tabela 13 são apresentados os resultados das medidas de exatidão, raiz quadrada do erro médio (RQEM) e bias (%) das quatro regiões para todas as alternativas avaliadas neste trabalho.

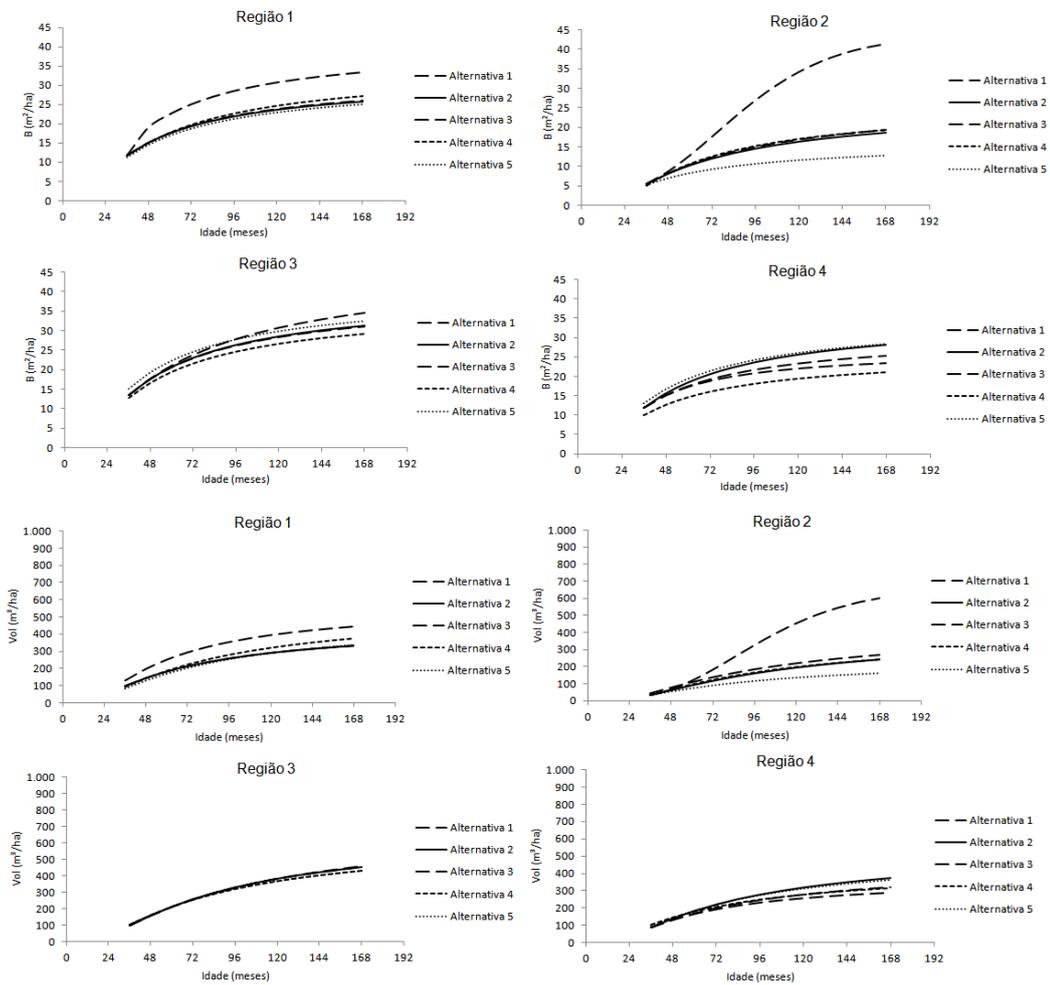


Figura 27 - Curvas de produção  $B$  e  $V$  para a classe de local II, de cada classe das alternativas de modelagem de 1 a 5 para clones de eucalipto na região de Minas Gerais.

Tabela 12 – Idade técnica de corte e respectiva produtividade para as classes de local I, II e III, para clones de eucalipto na região de Minas Gerais para uma idade índice de 72 meses.

Região	Alternativa	Idade técnica de corte (anos)			Produtividade na idade técnica de corte (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )		
		Classe III	Classe II	Classe I	Classe III	Classe II	Classe I
1	1	8	5	3	27.40	36.26	37.06
	2	8	5	4	25.34	36.50	39.31
	3	7	5	5	29.51	50.18	60.46
	4	6	5	6	20.22	37.05	44.80
	5	7	5	5	12.91	34.01	43.44
2	1	6	7	6	17.65	32.63	64.60
	2	7	6	5	18.15	31.02	50.92
	3	10	10	10	39.15	69.49	126.80
	4	6	6	7	17.90	33.21	61.90
	5	7	6	6	15.41	37.26	64.39
3	1	6	6	6	32.64	42.73	56.96
	2	6	6	6	33.50	42.75	57.70
	3	6	6	6	30.44	42.36	59.55
	4	5	6	7	31.45	42.28	62.75
	5	6	5	5	31.58	42.95	63.44
4	1	7	5	5	18.95	33.94	46.13
	2	8	6	5	20.47	36.73	49.99
	3	6	5	5	17.79	33.30	45.53
	4	5	4	5	16.18	42.56	46.61
	5	5	5	5	14.35	37.15	52.86

Tabela 13 – Raiz quadrada do erro médio e bias (%) para as quatro regiões para cada alternativa avaliada.

<b>Região</b>	<b>Alternativa</b>	<b>RQME</b>	<b>bias (%)</b>
1	1	23.30	-1.10
2	1	16.80	-0.80
3	1	23.90	-1.10
4	1	18.00	-0.80
1	2	14.10	-0.10
2	2	7.80	-0.40
3	2	17.10	-0.50
4	2	12.10	-0.30
1	3	14.10	-1.00
2	3	12.90	-0.50
3	3	24.90	-0.90
4	3	18.50	-0.60
1	4	23.10	-2.30
2	4	12.70	-1.70
3	4	22.80	-2.00
4	4	21.60	-1.50
1	5	26.40	1.50
2	5	15.20	-3.40
3	5	30.20	5.10
4	5	19.70	4.50

## 5 – CONCLUSÕES

Todas as alternativas de modelagem avaliadas neste estudo são eficientes para a faixa de idades disponível. Apesar disso, para algumas regiões a alternativa 3 foi descartada devido as inconsistências verificadas ao projetar a produtividade média para a idade técnica de corte. Os resultados do estudo permitem concluir que:

- Ao ajustar o modelo de Clutter, o modelador deve sempre partir do modelo na sua forma original e testar as contribuições das variáveis explicativas das equações de projeção do volume.
- O índice de local, na equação de projeção da área basal proposta por Clutter (1963) pode ser substituído pela altura dominante na idade atual mantendo-se as propriedades de consistência e compatibilidade do modelo.
- A inconsistência nas projeções de volume pelo modelo de Clutter, devido a um sinal negativo para o parâmetro associado á variável  $(1 - I_1/I_2)S_1$ , depende da magnitude dessa estimativa.

- Parcelas com apenas uma medição podem ser utilizadas em conjunto com parcelas com mais de uma medição, para ajuste do modelo de densidade variável, sem perda da eficiência, porém, a aplicação do modelo para simulação de desbastes requer banco de dados de povoamentos efetivamente submetidos a desbaste. É sempre necessário testar diferentes alternativas e abordagem para modelar o crescimento e a produção de cada estrato, independente do dado disponível, não havendo uma alternativa que possa ser empregada a todos os estratos da modelagem

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVERY, T.E; BURKHART, H. E. **Forest measurements**. 4 ed. New York: McGraw Hill, 1994. 408p.

BUCKMAN, R.E. **Growth and yield of red pine in Minnesota Washington**. DC: USDA, 1962 (Technical Bulletin, 1272).

CAMPOS, J. C. C. e LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 548 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. **Compatible growth and yield models for loblolly pine**. Forest Science, v. 9, n. 3, p. 354-371, 1963.

CRUZ, J.P. **Crescimento e produção de *Tectona grandis* na Região de Tangará da Serra – Mato Grosso** .2005. 41p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L.; CARVALHO, A. F.. **Avaliação financeira de plantações de eucalipto submetidas a desbaste.** Revista *Árvore*, v.29, n.3, p.419 - 429, 2005a.

DIAS, A. N.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; RODRIGUES, F. L. .. **Avaliação de métodos de ajuste de curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto desbastados.** Revista *Árvore*, v.29, n.5, p.741 – 747, 2005b.

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

GUAN, B. T.; GERTNER, G. **Using a parallel distributed processing system to model individual tree mortality.** *Forest Science*, v. 37, n. 3, p. 871-885, 1991a.

GUAN, B. T.; GERTNER, G. **Modeling red pine tree survival with an artificial neural network.** *Forest Science*, v. 37, n. 5, p. 1429-1440, 1991b.

GUAN, B. T.; GERTNER, G. **Modeling individual tree survival probability with a random optimization procedure: An artificial neural network approach.** *Artificial Intelligence Application*, v. 9, n.2, p. 39-52, 1995.

GOVEN, J.H.; PATIL, G.P.; **Modeling the basal area-size Distribution of Forest stands: a compatible approach.** *Forest Science*, v.44, n.2, p. 285-297, 1998.

GUIMARÃES, D. P.; **Um modelo de passo invariante baseado na função gompertz para prognose do crescimento.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, p. 75 – 81, 2000.

LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C; REGAZZI, A.J.. **Distribuição de diâmetros e produção de madeira para celulose e carvão vegetal em povoamentos de eucalipto.** Revista Árvore, n2, p.71-77, 1991.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO, A. **Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de Eucalyptus sp. Submetidos a desbaste.** Revista Árvore, v. 29, n. 2, p. 271-280, 2005.

MARTINS, F.B. **Modelagem de crescimento em nível de árvore individual para plantios comerciais de eucaliptos.** 2010. 143p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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.

NOVAES, D.M. **Modelagem de crescimento e produção de povoamento de Tectona grandisL.f. a partir de análise de tronco.** 2009 42p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA, M. L. R. de. **Mensuração e modelagem do crescimento e da produção de povoamentos não-desbastados de clones de eucalipto.** 2007. 103f. il. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PIENAAR, L.V.; HARRISON, W.M.; **A Stand table projection approach to yield prediction in unthinned even-aged stands.** *Forest Science*, v.34, n.3, p. 804-808, 1987

SALLES, T.T.; **Modelagem de crescimento e produção de clones de eucalipto em um sistema agroflorestal.** 2010. 87p. . (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, A.B. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste.** 2009. 73p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

SILVA, M.L.M.; **Uso de redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos equiâneos.** 2010. 48p. (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B. do. **Um modelo alternativo para a quantificação de multiprodutos em árvores individuais.** *Revista Árvore*, v. 28, n. 6, p. 875-882, 2004a.

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. (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

