

RAUL DE ABREU DEMOLINARI

**CRESCIMENTO DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO
NÃO-DESBASTADOS**

Tese 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
2006

RAUL DE ABREU DEMOLINARI

**CRESCIMENTO DE POVOAMENTOS DE EUCALIPTO
NÃO-DESBASTADOS**

Tese 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: 07 de Fevereiro de 2006

Prof. Hélio Garcia Leite
(Conselheiro)

Prof. Agostinho Lopes de Souza
(Conselheiro)

Prof. Gilciano Saraiva Nogueira

Prof. Gilson

Prof. Carlos Pedro Boechat Soares
(Orientador)

À minha esposa, Michelle.

Aos meus pais e aos meus irmãos.

À minha irmã, Marcela (in memoriam).

... Dedico este trabalho.

AGRADECIMENTO

O autor manifesta os seus sinceros agradecimentos ao orientador, professor Carlos Pedro Boechat Soares, pela amizade, pelo estímulo, pela confiança e pela orientação do trabalho.

Aos professores conselheiros Helio Garcia Leite, Agostinho Lopes de Souza, Gilciano Saraiva Nogueira e Gilson pelas sugestões e pelos esclarecimentos.

À Universidade Federal de Viçosa e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela oportunidade e pelo apoio financeiro.

À empresa JARI CELULOSE S.A., pela disponibilização dos dados para a elaboração do trabalho.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Florestal, pelo convívio.

Aos amigos, pelo apoio e incentivo durante a realização deste estudo.

E, aos meus pais, meus eternos agradecimentos a seus valiosos ensinamentos de vida e valorização das virtudes pessoais.

BIOGRAFIA

RAUL DE ABREU DEMOLINARI, filho de Henrique Pinheiro Demolinari e Maria Nair Barbosa de Abreu Demolinari, nasceu em 14 de abril de 1979, em Ipatinga, Estado de Minas Gerais.

Em 1999, ingressou no Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, graduando-se em janeiro de 2004.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Mestrado em Ciência Florestal, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	2
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Crescimento e Produção Florestal	3
2.1.1. Dados para estudos de crescimento e produção	5
2.2. Componentes do crescimento.....	6
2.2.1. Incremento Diamétrico	7
2.2.2. Mortalidade.....	12
2.2.3. Ingresso.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Caracterização da área de estudo.....	22
3.2. Análise dos dados	22
3.3. Equações de volume	25
3.4. Análise das variáveis do povoamento e dos componentes do crescimento.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Seleção do modelo hipsométrico.....	29
4.2. Classificação da capacidade produtiva.....	31
4.3. Análise das variáveis do povoamento	32
4.3.1. Volume e área basal por hectare.....	34
4.3.2. Altura dominante (Hd) e altura total (Ht).....	39
4.3.3. Diâmetro médio ou quadrático (q) e número de árvores por hectare (N).....	42
4.4. Componentes do crescimento.....	46
4.4.1. Caracterização da distribuição diamétrica.....	46
4.4.2. Crescimento diamétrico (<i>Upgrowth</i>) e Ingresso (<i>I</i>).....	47
4.4.3. Mortalidade.....	55
4.4.4. Matrizes de probabilidade de transição	60
5. CONCLUSÕES	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

RESUMO

DEMOLINARI, Raul de Abreu, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2006.
Crescimento de povoamentos de eucalipto não-desbastados. Orientador: Carlos Pedro Boechat Soares. Conselheiros: Helio Garcia Leite e Agostinho Lopes de Souza.

O presente estudo foi realizado com o objetivo de analisar o crescimento de povoamentos de eucalipto não-desbastados, mais especificamente os componentes do crescimento: ingresso, mortalidade e o crescimento propriamente dito, em termos do número de árvores por hectare; as variáveis do povoamento (área basal, volume, altura e diâmetro quadrático) e a estrutura diamétrica dos povoamentos. Para isso, foram utilizados dados de inventários florestais contínuos de plantações clonais de híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis*, provenientes da empresa JARI CELULOSE S/A, no estado do Pará, sendo selecionadas um total de 63 parcelas permanentes, igualmente distribuídas em três condições de capacidade produtiva (Alta, Média e Baixa). Após as análises, verificou-se que: a) as variáveis do povoamento diâmetro quadrático (q), área basal por hectare (B/ha), volume total com e sem casca por hectare (V/ha), altura dominante (Hd) e altura total (Ht) possuem relação direta com a capacidade produtiva, com diferentes taxas de crescimento ao longo do tempo; b) a competição entre plantas começa mais cedo nos melhores sítios, implicando em uma estagnação precoce do crescimento; c) existe uma relação direta entre o tamanho das árvores e a dinâmica de crescimento. Árvores maiores, em uma idade inicial, atingem tamanhos maiores em idades futuras. Por outro lado há uma maior probabilidade das árvores morrerem nas menores classes de diâmetro; d) o número de árvores sobreviventes no local de maior produtividade é maior nos primeiros anos após o plantio. Contudo, com o passar do tempo, esse comportamento se inverteu, haja vista que a competição entre plantas se iniciou mais cedo; e) a mortalidade tendeu a ser normalmente distribuída nas menores classes diamétricas independentemente da idade do povoamento e de classe de produtividade; f) A mortalidade ocorreu principalmente nas árvores que não mudaram de classe diamétrica, ou seja, árvores com baixa taxa de crescimento; g) o ingresso de árvores nas menores classes diamétricas ocorreu independentemente da capacidade produtiva e da idade do povoamento. Contudo, o número de árvores que ingressaram foi muito pequeno; h) O modelo de PIANNAR e SCHIVER (1981), ajustou-se

bem aos dados das variáveis do povoamento, demonstrando flexibilidade do modelo, para descrever o comportamento das variáveis.

ABSTRACT

DEMOLINARI, Raul de Abreu, M.S., Universidade Federal de Viçosa, February, 2006.
Growth of non-thinned Eucaliptus stands. Adviser: Carlos Pedro Boechat Soares.
Committee members: Helio Garcia Leite e Agostinho Lopes de Souza.

This study was carried out with the objective to evaluate the growth of a non-thinned Eucalyptus stand and, more specifically, to evaluate the growth of the components: ingrowths, mortality, and stand growth in terms of number of trees per hectare over time; the behavior of stand variables and the changes of stand diameter classes over time using transition probability matrixes. In order to accomplish that, data from continuous forest inventory obtained from cloned *E. urophylla* x *E. grandis* hybrid stands from the JARI CELULOSE S/A company, in Pará State, Brazil were used. Sixty three permanent plots even distributed in terms of productivity capacity (High, Medium and Low) were selected. After the analysis, some conclusions were taken: a) the stand medium diameter variables (q), basal area per hectare (B/ha), total volume with (Vc/c/ha) and without bark (Vs/c/ha) per hectare, dominant height (Hd) and total height (Ht) have a direct relationship with different growth rates over time; b) the competition between plants starts earlier in the best sites, implying earlier stagnation of growth; c) a direct relationship exists between the tree size and growth dynamics. Bigger trees, in a young age, reach a higher height in older ages. Consequently, the probability of death is higher in the small diameter classes; d) the number of surviving trees in the highest productivity site is greater in the first years after planting. Nevertheless, with time, this behavior reversed due to the start of competition process; e) the mortality tended to be normally distributed; f) The mortality occurred almost in trees that did not changed diameter class, i. e., for trees with lower growth rates; g) the ingrowths in the smaller diameter classes occurred independently of the site productivity capacity and stand ages. Nevertheless, few trees ingrowths; h) the PIANNAR & SCHIVER model was fitted well to the data, showing it's high flexibility.

1. INTRODUÇÃO

Os projetos florestais, em especial aqueles referentes a reflorestamentos, são caracterizados pelo longo período de tempo que decorre entre os investimentos iniciais e as receitas futuras. Isso gera uma grande expectativa com relação ao estoque total de colheita, pois dele dependem as receitas do investimento. Neste sentido, o conhecimento acerca da dinâmica de crescimento das florestas em diferentes condições de plantio (espaçamento, adubação, tipos de solo...) é de fundamental importância para a análise de viabilidade técnica e econômica dos projetos florestais.

A quantificação e a predição do crescimento e da produção dos povoamentos florestais são essenciais para definir a utilização dos produtos madeireiros da floresta, além de fornecer informações que subsidiarão a tomada de decisão para a maioria das atividades ligadas ao setor, como determinação da idade ótima de colheita e simulação do efeito de práticas silviculturais, como o desbaste (GUIMARÃES, 1994). Em florestas inequidâneas, o manejo passa, obrigatoriamente, pelo conhecimento dos processos de dinâmica de seu crescimento, uma vez que o seu princípio maior é a sustentabilidade dos recursos florestais e para tanto, faz-se necessário assegurar que a taxa de uso não seja maior que a taxa de regeneração e crescimento do recurso (SOUZA et al. 1993).

A predição do crescimento e da produção florestal está inserida em um conceito mais amplo denominado de modelagem de crescimento e de produção florestal, o qual trata do desenvolvimento e aplicação de técnicas e de modelos estatísticos visando conhecer e prognosticar a dinâmica de crescimento dos povoamentos que compõem a floresta (LEITE, 2002).

Segundo ABREU et al. (2002), existem duas grandes tendências de modelagem em florestas, que são: os modelos biométricos ou descritivos ou empíricos, sendo os mais comumente usados; e os modelos baseados em processos, denominados, também, de mecanísticos. Dentre os modelos empíricos de crescimento e produção, citam-se os modelos em nível de povoamento ou povoamento total; os modelos em nível de árvores individuais; e os modelos de distribuição de diâmetros, cuja aplicação e utilização dependem dos objetivos do manejo, da base de dados e dos recursos disponíveis (CLUTTER et al., 1983; DAVIS e JOHNSON, 1987).

No Brasil, vários trabalhos foram realizados, objetivando o estudo e a modelagem do crescimento e da produção madeireira em florestas plantadas (CAMPOS e TURNBULL, 1981; CAMPOS e RIBEIRO, 1983; TREVISOL JUNIOR, 1985; LEITE 1990; SCOLFORO, 1990; ROSAS, 1994; GUIMARÃES, 1994; SOARES, 1998; NOGUEIRA, 2003), dentre os quais destaca-se a avaliação dos modelos do tipo povoamento total e de distribuição de diâmetros.

Embora a modelagem do crescimento e da produção florestal tenha avançado significativamente no Brasil, principalmente para plantios comerciais de pinus e eucalipto, as condições de crescimento são bem diferentes daquelas onde os modelos foram desenvolvidos originalmente (regiões temperadas). Como consequência direta, tem-se uma idade de colheita muito reduzida quando comparada com outros lugares do mundo, implicando mudanças muito rápidas na estrutura interna das florestas.

Diante desta constatação, percebe-se a necessidade de estudos sobre a dinâmica de crescimento de povoamentos comerciais, visando o aprimoramento da modelagem do crescimento e da produção florestal; o entendimento das mudanças da estrutura paramétrica da floresta, para proporcionar aos manejadores informações precisas sobre a época correta de colheita ou de intervenções como desbastes; além de fornecer informações sobre a adequação de espécies e/ou procedências para determinadas localidades, entre outros.

1.1. Objetivos

Diante do exposto o objetivo principal deste trabalho foi estudar o crescimento de povoamentos de eucalipto não-desbastados.

Entre os objetivos específicos, destacam-se:

- analisar os parâmetros do povoamento área basal; altura total e altura dominante; diâmetro quadrático; volume com e sem casca; e número de árvores ao longo do tempo em locais com diferentes capacidades produtivas;
- analisar os componentes do crescimento: ingresso (*ingrowth*); mortalidade; e o crescimento interno (*upgrowth*), em termos do número de árvores por hectare;
- analisar as mudanças da estrutura diamétrica por meio de matrizes de probabilidade de transição.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Crescimento e Produção Florestal

ZEIDE (1993) definiu o crescimento como expressão da interação de dois componentes opostos. Um componente positivo, que manifesta o aumento gradual de um organismo e representa a tendência natural de multiplicação, alongamento e engrossamento das células; e um componente negativo, que representa as restrições impostas por fatores externos (competição, estresse hídrico, disponibilidade de nutrientes) e por fatores internos (mecanismos auto-regulatórios, características genéticas e envelhecimento).

Em termos florestais, o crescimento pode ser ainda definido, como sendo a mudança em um atributo do povoamento, dentro de um período estabelecido. Logo, crescimento é o conceito biológico da taxa de produção e a produção é o total acumulado em um determinado período. Dessa forma, e, podendo a produção de um povoamento ser expressa, do ponto de vista matemático, por uma equação de produção, o crescimento pode ser obtido ao se derivar a equação de produção. Tal crescimento é definido na literatura como; incremento corrente (IC) e corresponde ao valor do aumento da produção para um determinado período de tempo, sendo geralmente calculado considerando o período de um ano (DAVIS e JOHNSON, 1987).

A produção acumulada, considerando um povoamento florestal, quando apresentada graficamente, constitui uma curva caracterizada por um comportamento sigmoidal (Figura 1-a). Inicialmente, há um crescimento moderado até determinada idade, passando então a apresentar uma ascensão convexa para com o eixo X até um determinado ponto de inflexão. Depois a curva passa a ter um comportamento côncavo em relação a esse eixo X até um máximo passando a ser, então, levemente assintótica ou podendo até mesmo decrescer. Este decréscimo se dá em função da senescência do povoamento (ASSMANN, 1970; FINGER, 1992).

ASSMANN (1970), ao descrever as curvas de incrementos (corrente e médio) (Figura 1-b), destaca três fases naturais de crescimento que são de extrema importância para o estudo da produção florestal. A primeira fase, a qual corresponde a um aumento no

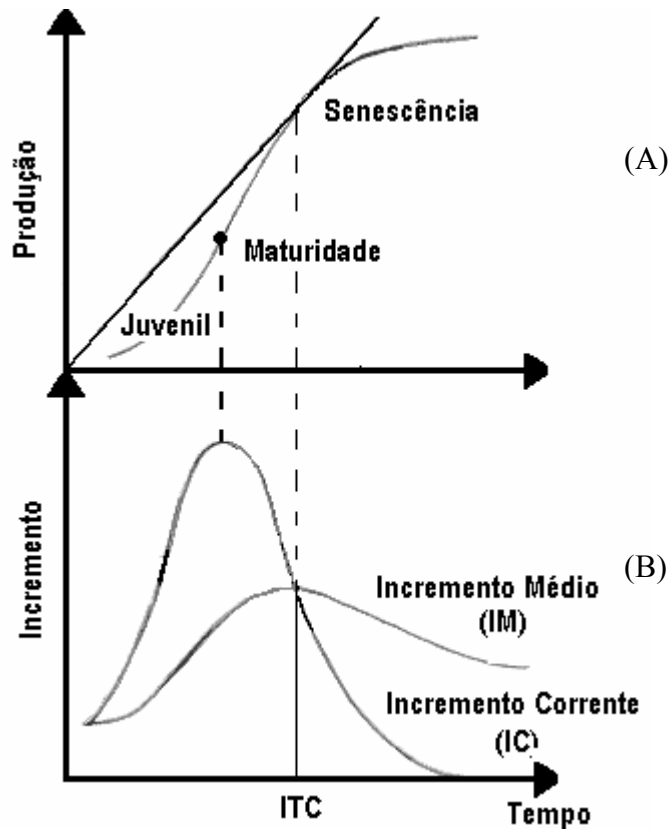


Figura 1- Curva de crescimento acumulado ou produção, comportamento sigmoidal (A).
Curvas de incremento corrente (IC) e incremento médio (IM) (B).

incremento corrente (IC) até um ponto de máximo é denominada de fase juvenil. A segunda fase, que corresponde, segundo o autor, à fase de maior vigor ou de maturidade. Inicia-se no ponto de máximo incremento corrente (que também ocorre no ponto de inflexão da curva de produção) e termina no ponto de máximo incremento médio (IM). A partir do ponto de máximo incremento médio, tanto a curva de IC quanto IM, são decrescentes, caracterizando a terceira fase de crescimento denominada de senescência ou declínio.

Verifica-se (Figura 1-b) que os incrementos corrente (IC) e médio (IM) se igualam em um determinado ponto no tempo (no caso de florestas equiâneas), definindo a idade técnica de colheita ou corte (ITC). Esta idade refere-se ao ponto de tangência de uma reta partindo da origem sobre a curva de produção (CAMPOS e LEITE, 2002).

2.1.1. Dados para estudos de crescimento e produção

Tão importante quanto definir o modelo de crescimento e produção mais adequado para uma situação particular é conhecer as características dos dados necessários para sua construção, bem como o modo de realizar a amostragem e sua conseqüente eficiência (CAMPOS e LEITE, 2002).

De acordo com CAMPOS e LEITE (2002) pode-se distinguir três fontes de dados mais usuais para estudos de crescimento e produção: análise completa ou parcial do tronco, parcelas temporárias e parcelas permanentes. No entanto, algumas limitações relacionadas às duas primeiras fontes podem ser destacadas:

- O uso de dados obtidos a partir do estudo dos anéis anuais de crescimento, somente é recomendável para espécies com anéis visíveis (CAMPOS e RIBEIRO, 1987). Além disso, a análise completa do tronco é um procedimento trabalhoso, em virtude de dois aspectos: primeiro, o trabalho de campo propriamente dito, que envolve a derrubada da árvore, o seccionamento dos discos de madeira e posterior transporte ao laboratório; e segundo, o tempo necessário para efetuar as medições sobre os discos (ROSOT et al., 2001).

- O uso de dados para o estudo de dinâmica de crescimento, obtidos a partir de parcelas temporárias, deve ser evitado, pois, estes não contemplam os componentes do crescimento como ingresso e mortalidade (VON GADOW e BREDENKAMP, 1992), tendo ainda o inconveniente de se ter que lançar e medir todo ano parcelas no campo, podendo ser um trabalho dispendioso em tempo e em dinheiro, em algumas situações.

Com relação ao uso das parcelas permanentes para estudos de crescimento e produção, deve-se atentar como essas foram alocadas e com que intensidade (número). De preferência, elas devem ser distribuídas seletivamente cobrindo diferentes produtividades (alta, média e baixa) e com um mesmo número de parcelas em cada condição de sítio. Dessa forma, haverá representação das diversas capacidades produtivas do povoamento, resultando, portanto, em fonte de dados mais vantajosa, uma vez que não amostra a condição média mais intensamente (CAMPOS e PEREIRA, 1981).

2.2. Componentes do crescimento

Os principais termos e componentes relacionados ao processo de crescimento são: o crescimento propriamente dito ou incremento (*upgrowth*); o ingresso ou recrutamento (*ingrowth*); e a mortalidade (SOMERS et al., 1980; MACHADO et al., 2002) (Figura 2). Segundo VANCLAY (1994) o *incremento*, expresso geralmente em área basal ou simplesmente em diâmetro, é o processo natural de crescimento de todas as árvores vivas; o *ingresso*, expresso em termos de número de árvores, área basal e/ou o volume, refere-se às novas árvores que atingiram e/ou ultrapassaram o tamanho mínimo mensurável ou o nível de inclusão pré-estabelecido no inventário; e a *mortalidade*, por sua vez, refere-se ao número de árvores, a área basal e/ou o volume de árvores que morreram por causa da senescência, da competição, das pragas e das doenças, etc.

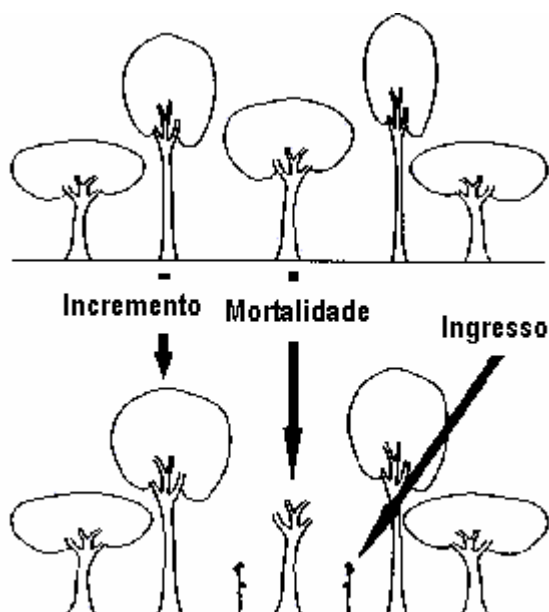


Figura 2 - Componentes do crescimento florestal (VANCLAY, 1994).

Outros autores como CLUTTER et al. (1983) e DAVIS e JOHNSON (1987) destacam também o corte ou colheita, como outro importante componente do crescimento a ser considerado, uma vez que, embora seja uma interferência antrópica, este interfere significativamente na estrutura da floresta.

Assim, segundo BEERS (1962), considerando o número, a área basal ou o volume de árvores vivas, no início do período de medição (Y_i); o número, a área basal ou o volume

de árvores vivas no final (Y_f) do período; o número ou volume de árvores mortas durante o período (M); a área basal, o número, ou volume de árvores removidas durante o período (C); e o número, a área basal ou volume de ingresso no período (I), cinco diferentes medidas de crescimento podem ser definidas:

1- Crescimento Bruto Incluindo Ingresso (C_{bi})

$$C_{bi} = Y_f + C + M - Y_i$$

2- Crescimento Bruto Excluindo Ingresso (C_b)

$$C_b = Y_f + C + M - I - Y_i$$

3- Crescimento Líquido Incluindo Ingresso (C_{li})

$$C_{li} = Y_f + C - Y_i$$

4- Crescimento Líquido Excluindo Ingresso (C_l)

$$C_l = Y_f + C - I - Y_i$$

5- Incremento Líquido Incluindo o Ingresso (IL_i)

$$IL_i = Y_f - Y_i$$

Sendo a produção de um povoamento florestal definida como o crescimento acumulado até certo período de tempo, ela pode também ser definida em produção bruta ou líquida em virtude do tipo de crescimento contabilizado (DAVIS e JOHNSON, 1987).

2.2.1. Incremento Diamétrico

Antes de qualquer estudo sobre o crescimento diamétrico ou sobre as mudanças na estrutura diamétrica das florestas, deve-se conhecer o padrão de distribuição da frequência dos diâmetros das árvores.

A distribuição diamétrica provém da medição de diâmetros em um procedimento de inventário florestal. Refere-se à distribuição da frequência ou número de árvores dentro de classes de diâmetro previamente definidas, por unidade de área. A distribuição diamétrica caracteriza o tipo florestal ou o estoque em desenvolvimento, servindo de base no planejamento da exploração de madeira e para tomada de decisões quanto ao manejo florestal (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

A distribuição de diâmetros segue dois padrões clássicos. Para povoamentos equiâneos, a distribuição tende a uma distribuição normal (Gauss), onde as maiores freqüências se concentram próximo á média (HUSCH et al., 1993) (Figura 3). Estas curvas, por sua vez, podem apresentar diferentes simetrias em função da idade e da capacidade produtiva do local onde estão inseridas.

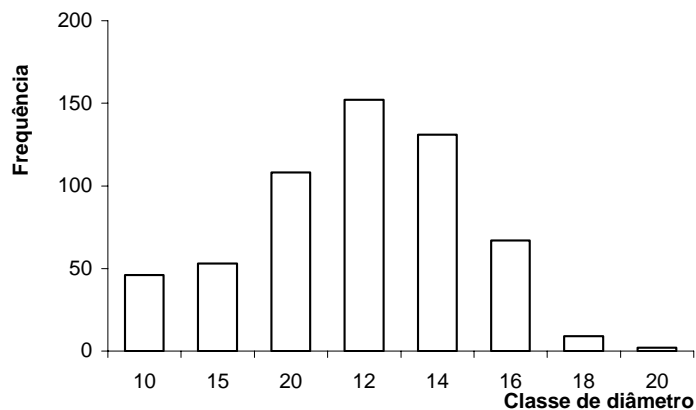


Figura 3 - Distribuição diamétrica de povoamentos equiâneos.

Para povoamentos inequiâneos, a distribuição é definida por uma exponencial negativa, comumente chamada de J-invertido, ou seja, apresenta um grande número de pequenas árvores diminuindo esta freqüência com o aumento da classe de tamanho (Figura 4).

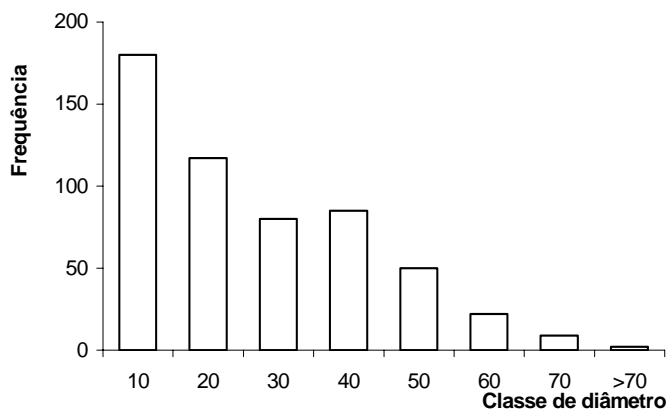


Figura 4 - Distribuição diamétrica de povoamentos inequiâneos (J-invertido).

O processo de crescimento em diâmetro deve-se à divisão e diferenciação das células que formam o câmbio, sendo este processo controlado fisiologicamente pela planta. Neste processo pode ser verificada a formação dos chamados anéis de crescimento, os quais são determinados principalmente pela sazonalidade das condições ambientais de crescimento impostas à planta (FINGER, 1992).

WEST (1980) e FERREIRA-FEDELE et al. (2004), em trabalhos realizados com *Eucalyptus sp.*, na Tasmânia, e *Esenbeckia leiocarpa*, no Brasil, destacaram a ocorrência natural de incrementos diamétricos negativos em pequenas árvores. Este comportamento foi explicado pela sazonalidade climática, principalmente devido a medições realizadas em meses com déficits hídricos, causando contração da casca.

O incremento no diâmetro do tronco pode ser expresso por modelos estatísticos nos quais estima-se o incremento em diâmetro ou em área seccional, sobre um especificado período, podendo apresentar padrões de crescimento apresentados nas Figuras 1-a e 1-b (PIENAAR, 1965). Contudo, as curvas de crescimento em diâmetro em relação à idade variam muito entre espécies, sendo expressas por diferentes modelos que descrevem comportamentos sigmoidais, exponenciais e retilíneos (CHAGAS et al., 2001).

Muitos outros fatores afetam o crescimento em diâmetro, como a qualidade do local, o fator genético e a densidade do povoamento. A relação entre a densidade do povoamento e o crescimento diamétrico se dá de forma inversamente proporcional, uma vez que com um maior número de árvores por unidade de área, a competição por água, luz e nutrientes, é maior (DAVIS e JOHNSON, 1987). Dessa forma, vários trabalhos que estudaram e modelaram as taxas de crescimento em diâmetro, relacionam a área basal por hectare como importante variável independente nos modelos de regressão, uma vez que esta variável é um indicador do processo de competição das árvores, pois combina o tamanho das árvores e a densidade do número de árvores (STERBA et al., 2002; ZHAO et al., 2004).

Entre os estudos de crescimento em diâmetro, destacam-se os que objetivam auxiliar nas tomadas de decisões sobre os tipos de desbastes e sua intensidade, além da época de realização do primeiro desbaste e do intervalo de tempo entre os desbastes sucessivos. Neste contexto, pode ser destacado o trabalho de NOGUEIRA et al (2001), utilizando a metodologia dos ingressos percentuais (MIP) para determinação da idade técnica de desbaste em plantações de eucalipto. Este método consiste na análise da

dinâmica de crescimento e na avaliação dos ingressos das árvores em sucessivas classes de diâmetro, onde, a idade técnica do desbaste é aquela em que o ingresso de árvores em classes diamétricas sucessivas não é mais significativo estatisticamente.

FERREIRA et al (1998), em estudo realizado sobre a taxa de crescimento em diâmetro de uma floresta semidecidual secundária de transição com o cerrado, na região Sudeste do Brasil, concluiu que desbastes possibilitaram aumento nas taxas de crescimento das árvores remanescentes e, principalmente, o aumento no número de árvores que ingressaram. Os autores relataram ainda que os crescimentos são maiores com o aumento da classe de diâmetro, no decorrer do período de estudo, esta relação foi observada principalmente no povoamento teste onde não houve intervenção de desbaste.

Para CAMPOS e TURNBULL (1981), pesquisas que visem o aprimoramento dos meios de predição da produção são justificadas quando, além do volume e da área basal, se faz também o controle do crescimento em diâmetro das árvores, uma vez que a estimação da produção baseada na distribuição dos diâmetros, fornece a proporção de árvores por classe de diâmetro, bem como as estimativas da produção em volume e área basal por hectare, segundo diferentes combinações de densidade, qualidade de local e idade, além de informações do porte das árvores.

De acordo com Silva (1986), citado por LEITE (1990), modelos baseados na distribuição dos diâmetros são os mais indicados em tais situações, já que podem fornecer informações sobre a estrutura do povoamento, além de serem expressos em função de características facilmente mensuráveis, como a idade, o índice de local e a densidade.

Os modelos de distribuição diamétrica normalmente são baseados em funções densidade de probabilidade e permitem descrever alterações na estrutura do povoamento (número de árvores por classe de diâmetro, por exemplo), nas relações hipsométricas e nas taxas de mortalidade, podendo todas estas características serem analisadas, simultaneamente, ao longo do tempo (GUIMARÃES, 1994).

Várias funções densidade de probabilidade têm sido utilizadas para estudar e caracterizar as distribuições diamétricas, sendo a função Weibull e a Sb. JOHNSON, as mais empregadas. Dentre vários trabalhos que utilizaram a função Weibull, como ferramenta para prognose do crescimento e da produção florestal, podem ser destacados BAILEY e DELL (1973); CAMPOS e TURNBULL (1981), LEITE (1990); GUIMARÃES (1994) e MAESTRI et al. (1995).

Projeções da estrutura do povoamento podem também ser feitas com base em modelos florestais nos quais, árvores são agrupadas em classes de diâmetro e as probabilidades de transição entre as classes diamétricas posteriormente são calculadas. Estas probabilidades são dispostas em uma matriz diagonal denominada de matriz de transição, de tal forma que se possa projetar a mudança no número de árvores entre as classes ao longo do tempo (ALDER, 1996). A utilização desta metodologia tem sido proposta para a análise da dinâmica de crescimento tanto em florestas inequiâneas (BUONGIORNO e MICHIE, 1980; HIGUCHI, 1987; AZEVEDO, 1993; BARROS, 1999; CUNHA et al., 2002) quanto para florestas equiâneas (MICHIE e McCANDLESS, 1986 e ARCE et al., 1997).

A matriz de transição representa um processo estocástico utilizado para estudar fenômenos que passam, a partir de um estado inicial, por uma seqüência de estados, onde a transição de um determinado estado ocorre segundo uma certa probabilidade (AZEVEDO, 1993; ARCE et al., 1997). Assim, as matrizes de transição fornecem informações, sobre a probabilidade de uma árvore, numa classe diamétrica qualquer num tempo inicial, crescer e alcançar uma, duas ou mais classes seguintes, num tempo futuro.

ARCE et al. (1997), utilizando matrizes de transição na avaliação e simulação do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* em uma floresta equiânea, na região Sul do Brasil, obtiveram simulações coerentes para um período de tempo igual ao intervalo entre medições. Contudo, os autores concluíram que simulações para intervalos maiores do que o período considerado seria desaconselhável, por se tratar de povoamentos jovens e, portanto, a dinâmica de crescimento da floresta não estaria completa favorecendo a formação de estados absorventes.

Outra forma de descrever a dinâmica de crescimento em diâmetro, muito utilizada em povoamentos inequiâneos, pode ser feita através do cálculo do tempo de passagem entre classes diamétricas sucessivas, uma vez que tal método permite determinar a taxa de movimentação das árvores, entre as classes de diâmetro. Esta metodologia baseia-se no incremento periódico médio anual em diâmetro das árvores.

SOUZA et al. (1993), trabalhando com dados de floresta primária sem interferência, na Mata Atlântica, na região Sudeste do Brasil, evidenciaram a relação diretamente proporcional entre o tamanho da classe diamétricas e a taxa de crescimento diamétrico. Os autores relacionam também o tempo de passagem, como sendo

inversamente proporcional aos incrementos diamétricos, ou seja, quanto maior o incremento em diâmetro, menor o tempo de passagem, e vice-versa.

Esta mesma metodologia de tempo de passagem por classes diamétricas sucessivas foi utilizada por SILVA et al. (1999), em estudo para determinação de ciclo de corte de uma floresta natural secundária. Contudo, apesar dos autores considerarem os resultados satisfatórios, eles afirmam que uma prognose mais exata do ciclo de corte deve incluir, além do tempo de passagem, estimativas de mortalidade e de ingresso.

2.2.2. Mortalidade

Os fatores que levam uma árvore à morte podem ser classificados em: endógenos e exógenos. Os fatores endógenos podem ser entendidos por tudo que for intrínseco à própria árvore ou ao povoamento como, por exemplo, a genética e a competição das plantas por água, luz e nutrientes, sendo a mortalidade definida por estes fatores como regular. Quanto aos fatores exógenos, também conhecidos como catastróficos, são decorrentes de causas não-intrínsecas, como pragas, doenças, incêndios, ventos e seca, o que de uma maneira geral, estão sujeitos a acontecer esporadicamente no tempo e no espaço, sendo assim difícil de prever e mensurar (MIRANDA, 1990; VANCLAY, 1994; CAMPOS e LEITE, 2002).

Dessa forma, o estudo sobre a mortalidade, norteia-se na mortalidade regular, por se tratar de um evento freqüente e possível de ser explicado e mesurado a partir de características das árvores, individuais ou do povoamento como um todo.

Segundo Harcombe (1987), citado por ZHAO et al. (2004), dentro de um povoamento florestal, os grandes indivíduos em sua maioria têm maiores chances de competirem pelos recursos favoráveis ao crescimento. Assim, a probabilidade de mortalidade decresce com o aumento do diâmetro. Contudo, quanto mais os diâmetros aumentam, mais as árvores se aproximam da maturidade, diminuindo também a taxa de crescimento, tornando a senescência aparente, aumentando a probabilidade das árvores morrerem (BUCHMAN, 1983; MOSERUD e STERBA, 1999 e YANG et al., 2003).

Segundo MOSERUD e STERBA (1999), há muitos trabalhos que focam a modelagem da mortalidade. Entretanto, são raros os sucessos, sendo que os insucessos estão associados, na maioria das vezes, à escolha de modelos inapropriados para prever a mortalidade, além de uma base de dados ineficientes para a análise, demonstrando pouco

realismo entre o tamanho das árvores e as características do local (índices de competição). Dessa forma, para se obter uma boa modelagem, é necessário o estabelecimento de parcelas permanentes maiores e com uma grande representatividade amostral, a fim de contemplar mais apuradamente o evento da mortalidade.

De acordo com HAMILTON (1986), são dois os tipos de procedimento para explicar a mortalidade regular das árvores: 1) aqueles que se baseiam em características dendrométricas de grupos de árvores semelhantes; e 2) aqueles que se baseiam em características do povoamento florestal como um todo. Segundo o autor, os principais parâmetros escolhidos para compor a modelagem da mortalidade são: o tamanho da árvore; o vigor; a densidade do povoamento; e a competição individual entre árvores.

Na modelagem da mortalidade regular, baseada em características dendrométricas de grupos de árvores semelhantes, os modelos mais usados são em função do vigor e do tamanho das árvores (BUCHMAN, 1983). Já os modelos com base nas características do povoamento, fundamentam-se principalmente na idade e na densidade do povoamento (CLUTTER et al., 1983).

Dentre os vários trabalhos que tratam da modelagem da mortalidade, há uma tendência de autores empregarem modelos não-lineares, já que a mortalidade regular é caracterizada como um fenômeno biológico (MIRANDA, 1990).

Ao se estimar a probabilidade de mortalidade, a variável dependente dicotômica deve assumir o valor “um” quando a árvore morre, ou “zero”, quando está viva. Assim, a função logística é apropriada na modelagem da mortalidade, pois, limita a predição da variável entre 0 e 1 (HAMILTON, 1986; VANCLAY, 1994).

De acordo com VANCLAY (1994), variações do modelo logístico são comumente usadas na predição da mortalidade, entre elas:

$$P = (1 + e^{-f(x)})^{-1} = 1 - (1 + e^{f(x)})^{-1} = \frac{e^{f(x)}}{1 + e^{f(x)}} + \varepsilon_i \quad (1)$$

em que: P expressa geralmente a probabilidade de sobrevivência; e $f(x)$ é uma função, normalmente linear, podendo ser formada por diferentes variáveis, como o vigor, tamanho da árvore e densidade. A probabilidade de mortalidade é obtida por $1 - P$.

BUCHMAN (1983) propôs o emprego do seguinte modelo para estimar a taxa de sobrevivência regular de árvores semelhantes, sendo este modelo uma variação do modelo

logístico. O modelo contém, um parâmetro β_0 que assegura valores menores ou iguais a 1 (um) para as estimativas de sobrevivência:

$$TS = \beta_0 - \left[\frac{1}{1 + e^p} \right] + \varepsilon_i \quad (2)$$

em que

TS = taxa anual de sobrevivência numa determinada classe de diâmetro;

β_0 = parâmetro assintótico;

$$p = \beta_1 + \beta_2(IAD)^{\beta_3} + \beta_4(DAP-1)^{\beta_5} \cdot e^{-\beta_6(DAP-1)}$$

sendo

β_i = parâmetros do modelo, com ($i=1,2,\dots,6$);

IAD = incremento anual em diâmetro por classe;

DAP = diâmetro casca medido a 1,30m do solo;

ε_i = erro aleatório.

BUCHMAN (1983) afirmou, ainda, que o modelo descrito anteriormente permite que a taxa de sobrevivência (TS) assuma uma ampla variedade de curvas, geralmente assimétricas, para valores conhecidos do IAD, variando desde uma curva normal até monotonizadamente crescente para valores de DAP.

O mesmo modelo proposto por BUCHMAN (1983) foi utilizado por MIRANDA (1990), em estudo de mortalidade regular povoamentos de *Eucalyptus sp.*. Entretanto, o autor relacionou a variável dependente TS (taxa de sobrevivência) com as variáveis independentes DAP e IAD, da seguinte maneira:

$$TS_i = \beta_0 - \left[\frac{1}{1 + e^{(\beta_1 + \beta_2(IAD)^{\beta_3} + \beta_4(DAP))}} \right] + \varepsilon_i \quad (3)$$

MONSERUD e STERBA (1999), em estudo realizado para a predição da mortalidade de árvores individuais, em seis importantes espécies da Áustria, utilizaram a seguinte modificação do modelo logístico:

$$P = (1 + e^{\beta'X})^{-1} + \varepsilon_i \quad (4)$$

tal que

$$\beta'X = (\beta_0 + \beta_1/DAP + \beta_2CR + \beta_3BAL + \beta_4DAP + \beta_5DAP^2)$$

sendo

P = probabilidade de mortalidade;

DAP = diâmetro casca medido a 1,30m do solo;

CR = razão de copa;

BAL = área basal nas maiores árvores (m²/ha);

β_i = parâmetros de regressão do modelo, com (i=1,2,...,5); e

ε_i = erro aleatório.

Segundo CAMPOS e LEITE (2002), há um grande número de trabalhos que estudam mortalidade regular com base em características do povoamento florestal como um todo, em lugar de características de árvores individuais. Neste sentido, muitos autores desenvolveram modelos para estimar mortalidade futura a partir de dados de inventário florestal contínuo.

Tais modelos são baseados nas premissas apontadas por CLUTTER et al. (1983), em que I_i refere-se à idade e N_i à densidade do povoamento, expressa em números de árvores, e “i” o tempo. Desta forma,

a) Se $I_2 = I_1$, então $N_2 = N_1$;

b) Em povoamentos equiâneos, se $I_2 > I_1$, então $N_2 < N_1$;

c) Em povoamentos equiâneos, se $I_2 \Rightarrow \infty$, então $N_2 \Rightarrow 0$;

d) Se um modelo for usado para prever N_2 na idade I_2 a partir de N_1 na idade I_1 ; e se N_2 e I_2 for utilizado para prever N_3 na idade I_3 , o resultado deve ser igual àquele em que se usa N_1 na idade I_1 , para prever N_3 na idade I_3 (compatibilidade).

CLUTTER e JONES (1980), utilizaram um modelo para predição da mortalidade em nível de povoamento, expresso da seguinte forma:

$$N_2 = [N_1^\alpha + \beta(I_2^\gamma - I_1^\gamma)]^{1/\alpha} \cdot \varepsilon_i, \quad (5)$$

em que

N_2 = densidade do povoamento na idade I_2 ;

N_1 = densidade do povoamento na idade I_1 ;

α , β e γ = parâmetros de regressão do modelo; e

ε_i = erro aleatório.

PIENAAR e SCHIVER (1981), propuseram uma derivação do modelo anterior, para determinar a sobrevivência em plantações de pinus no estado da Florida, nos Estados Unidos, chegando à seguinte formula:

$$N_2 = N_1 \exp[-\beta_0(I_2^{\beta_1} - I_1^{\beta_1})] \cdot \varepsilon_i, \quad (6)$$

Outro trabalho muito importante e que deve ser destacado é o de SOMERS et al. (1980), que ajustaram a função de Weibull a dados de mortalidade de povoamentos equiâneos de *loblolly pine*, oriundos de uma floresta experimental em Lower Coastal Plain na Carolina do Sul, nos Estados Unidos. A função apresentava a seguinte relação:

$$N_i = N_0 \exp\left[-\left(\frac{I_i}{\beta}\right)^\delta\right] \cdot \varepsilon_i \quad (7)$$

em que

N_i = número de árvores sobreviventes por hectare na idade “ i ”;

N_0 = número de árvores por hectare na idade inicial;

I_i = idade;

β = parâmetro da distribuição que define a escala que a curva assume;

δ = parâmetro da distribuição que define a forma que a curva assume; e

ε_i = erro aleatório.

CAMPOS e LEITE (2002) destacam que a precisão de modelos utilizados na modelagem da mortalidade em nível de povoamento aumenta se houver estratificação dos dados por índice de local, uma vez que esta variável tem influência direta na sobrevivência. Contudo, existem controvérsias do seu efeito sobre a mortalidade (CLUTTER et al., 1983; MACHADO et al., 2002).

Smalley e Bailey (1974) citados por MIRANDA (1990), desenvolveram um modelo para prever sobrevivência em função da idade, densidade inicial do povoamento e a média das alturas totais das árvores dominantes e co-dominantes. Os autores concluíram que para todas as classes de capacidade produtiva, a sobrevivência decrescia com o aumento da densidade de plantio, sendo que quanto melhor a capacidade produtiva

maior a sobrevivência na fase jovem do povoamento em relação à fase adulta, em que já tenha iniciado a competição entre as árvores.

MACHADO (1979), em estudo sobre a modelagem da estimativa de sobrevivência de *Pinus taeda* em plantios homogêneos, na região Sul do Brasil, utilizou o modelo proposto por Smalley e Bailey (1974), cujas variáveis preditoras foram a idade e a classe de qualidade de sítio, expressa pela altura média das árvores dominantes. Neste estudo, observou-se que a mortalidade é maior nos melhores sítios, exceto nos primeiros anos de estabelecimento do plantio. Segundo o autor, este comportamento se deve ao fato de que em solos pobres (baixa capacidade produtiva) há uma maior mortalidade nos primeiros anos de estabelecimento do que em solos bons (alta capacidade produtiva). No entanto, a competição inicia-se mais cedo em sítios melhores devido ao desenvolvimento mais rápido das árvores e, portanto a mortalidade devido ao fator densidade, começa mais cedo em solos mais férteis. Estes mesmos resultados foram observados por SCOLFORO (1990) para *Pinus caribea* var. *hondurensis*, antes do primeiro desbaste e por MAESTRI et al. (1995) em povoamentos de acácia-negra (*Acácia mearnsii* de Wild). Contudo, esta relação inversa, não foi encontrada no trabalho de Sanqueta (1990) para *Pinus elliottii*, citado por MACHADO et al. (2002).

MACHADO et al. (2002), estudando o comportamento da mortalidade natural em bracingais nativos em diferentes densidades iniciais e classe de sítio, na região Sul do Brasil, verificaram não haver diferença significativa nas médias das mortalidades nos diferentes sítios.

YANG et al. (2003), em estudo da modelagem da mortalidade de *Picea glauca*, na região de Alberta no Canadá, utilizou como variáveis independentes para compor o modelo logístico proposto, o diâmetro (DAP), a área basal e o incremento anual em diâmetro (vigor), desconsiderando a capacidade produtiva do local, pois os autores não encontraram qualquer tendência óbvia que justificasse sua utilização.

2.2.3. Ingresso

Segundo CAMPOS e LEITE (2002), ingresso refere-se às árvores medidas numa idade qualquer e que não foram medidas numa idade anterior por não terem alcançado um diâmetro mínimo pré-determinado. Entretanto, de acordo com VANCLAY (1994), não necessariamente, o ingresso poderá ser contabilizado tendo como referência o diâmetro,

mas sim, em consideração ao limite mínimo de inclusão; por exemplo, altura mínima de 1,30m.

Trabalhos de modelagem do crescimento em povoamentos equiâneos, normalmente, desconsideram qualquer tipo de ingresso. Por exemplo, ARCE et al. (1997), em estudo realizado em povoamentos plantados de *Pinus taeda*, no Paraná, no qual foi utilizada matriz de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento, desconsideraram o vetor ingresso.

A desconsideração do ingresso em povoamentos equiâneos nos trabalhos que estudam o crescimento, pode ser explicado pelo fato da idade inicial de medição se dá normalmente em torno de 24 meses; porque no primeiro inventário adota-se um diâmetro mínimo de inclusão baixo, normalmente em torno de 15 centímetros de circunferência à altura do peito (CAP); e porque não há condução da regeneração natural nos povoamentos plantados.

Para povoamentos inequiâneos, muitos modelos assumem que o ingresso é desprezível, ou simplesmente não influenciaria a estimativa da produção para um curto período de tempo. Entretanto, esta suposição não é satisfatória para simulações mais longas em florestas naturais, uma vez que o ingresso pode contribuir substancialmente para área basal futura do povoamento, o que por sua vez influencia o crescimento e a produção da floresta (VANCLAY, 1994).

O estudo dos ingressos em florestas tropicais naturais reveste-se de especial importância do ponto de vista silvicultural, uma vez que sua quantidade e qualidade determinam quão satisfatoriamente o povoamento está sendo alimentado, com mudas e árvores de espécies desejáveis. Para a produção ser sustentável, é necessário que grande número de espécies de valor econômico, ingressem regularmente no povoamento e que destas um número mínimo de árvores sobreviva e cresça até o tamanho de serem colhidas a cada ciclo de corte (AZEVEDO et al. 1995).

Segundo VANCLAY (1994), os modelos para predição do recrutamento ou ingresso podem ser distinguidos em duas abordagens:

1. Abordagens estáticas: os quais levam em consideração que o ingresso é constante ao longo do tempo, dado pela expectativa média em condições típicas; e

2. Abordagens dinâmicas: as quais respondem para condição do povoamento, predizendo o recrutamento em função da densidade do povoamento, da composição e de outros parâmetros da floresta.

Vários modelos lineares e não-lineares têm sido desenvolvidos para prever o ingresso utilizando, geralmente, como variáveis independentes, tais como: a capacidade produtividade do local; a densidade do povoamento expressa pela área basal por hectare e pelo número de árvores por hectare; e os índices de competição.

EK (1974), ajustou vários modelos, obtendo resultados pouco satisfatórios. Assim sendo, o autor propôs a inclusão de termos adicionais aos modelos tradicionais, resultando na construção do seguinte modelo não-linear:

$$I_t = \beta_0 \cdot N^{\beta_1} \cdot \exp(-\beta_2 B^{\beta_3} \cdot N^{-1}) + \varepsilon_i \quad (8)$$

em que o B e o N são, respectivamente, a área basal por hectare e o número de árvores por hectare iniciais do povoamento. O autor observou ainda que o ingresso foi, inversamente, relacionado com a área basal e diretamente relacionando com o número de árvores.

Com bases nas observações de EK (1974), BUONGIORNO e MICHIE (1980), em estudo em povoamentos de *Acer sacharum*, em Wisconsin e Michigan nos EUA, concluíram que o ingresso poderia ser estimado pelo seguinte modelo:

$$I_t = \beta_0 + \beta_1 \sum_{i=1}^n B_i (y_{it} - h_{it}) + \beta_2 \sum_{i=1}^n (y_{it} - h_{it}) + \varepsilon_i \quad (9)$$

em que

I_t = ingresso do número de árvores durante o intervalo de crescimento;

B_i = área basal da árvore de diâmetro médio da i -ésima classe de diâmetro;

y_{it} = número de árvores vivas na classe i , no tempo t ;

h_{it} = número de árvores colhidas na classe i , no intervalo de tempo;

β_i = parâmetros de regressão do modelo, com ($i=0,1,2$); e

ε_i = erro aleatório.

AZEVEDO et al. (1995), a fim de escolher uma melhor equação para prever o ingresso das árvores de um povoamento florestal inequiâneo na Mata Atlântica, testaram diversas variáveis e combinações destas e selecionou o seguinte modelo:

$$I_t = \beta_0 + \beta_1(N_{t+\phi} - N_t) + \varepsilon_i \quad (10)$$

em que

I_t = ingresso de árvores, por hectare, no intervalo de crescimento;

$N_{t+\phi}$ = número total de árvores, por hectare, no final do período de crescimento;

N_t = número total de árvores remanescentes, por hectare, no início do período de crescimento;

β_0 e β_1 = parâmetros do modelo; e

ε_i = erro aleatório.

HUEBSCHMANN et al. (2000), ao enfatizar a importância do ingresso para a sustentabilidade da produção em povoamentos inequiâneos de *Pinus echinata*, ajustou um modelo linear para predição do ingresso dado pela seguinte expressão:

$$I_{t+1} = \beta_0 + \beta_1 N_{t1} + \beta_2 B_{t1} + \varepsilon_i \quad (11)$$

sendo N_{t1} o número de árvores comerciais existentes no povoamento no tempo t ; B_{t1} a área basal do povoamento no tempo t ; β_0 , β_1 e β_2 os parâmetros do modelo; e ε_i o erro aleatório.

RALSTON et al. (2003), trabalhando com povoamentos inequiâneos de *Douglas-fir*, nos estados de Oregon e Washington, nos EUA, utilizaram a seguinte função linear na predição do ingresso:

$$I_t = \beta_0 + \beta_1 B_t + \varepsilon_i \quad (12)$$

em que I_t é o número de árvores que ingressaram na menor classe de diâmetro durante o período t e $t+1$; β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo; B_t é a soma das áreas seccionais de todas as árvores no povoamento, medidas à altura do peito; e ε_i é o erro aleatório; sendo que B_t está relacionado ao número de árvores pela expressão:

$$Bt = \sum_{i=1}^z \sum_{j=1}^n B_{ij}(y_{ijt} - h_{ijt}) \quad (13)$$

sendo B_{ij} é a área seccional da i -ésima árvore na j -ésima classe de diâmetro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado com dados de inventários florestais contínuos de plantios clonais de híbridos não-desbastados de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, provenientes da empresa JARI CELULOSE S/A., cuja sede está situada na cidade de Monte Dourado, as margens do rio Jarí, no estado do Pará, região norte do Brasil (Figura 5).



Figura 5 – Localização da área de estudo (Fonte: www.jari.com.br)

Os plantios da empresa estão localizados em áreas cuja temperatura média anual é aproximadamente 26°C; a umidade relativa apresenta valores entre 80 e 85% em quase todos os meses do ano; a precipitação média anual está entre 2000 e 2500 mm, com o período chuvoso compreendido entre os meses de dezembro e julho. Março é o mês mais chuvoso, enquanto que, os meses com menores índices pluviométricos compreendem-se entre julho e novembro, sendo outubro o mais seco; os solos predominantes da região são os latossolos amarelos (OLIVEIRA et al., 2004).

3.2. Análise dos dados

Para a análise do crescimento dos plantios de eucalipto, foram selecionadas 63 parcelas permanentes, com 500 m² de área útil, espaçamento de 3x3 m entre plantas, e com

pelo menos cinco medições. Em cada parcela, as circunferências à altura do peito (CAP's), maiores que 15 cm foram medidas, bem como as alturas das 15 primeiras árvores e a altura das 5 (cinco) árvores dominantes.

Como nem todas as alturas totais (Ht) das árvores foram medidas, alguns modelos hipsométricos foram ajustados e avaliados para possibilitar a estimação das demais alturas (Quadro 1). Uma vez que as parcelas foram remedidas em diferentes idades e em lugares com diferentes capacidades produtivas, considerou-se as seguintes variáveis independentes nos modelos: o DAP (diâmetro com casca, medido a 1,30 m do solo); a idade (I), em meses; altura média das árvores dominantes (Hd), em metros e suas combinações.

Quadro 1 - Modelos hipsométricos

Nº	Modelo	
1	$LnHt = \beta_0 + \beta_1(1 / DAP) + \beta_2LnHd + \beta_3I + \varepsilon_i$	
2	$LnHt = \beta_0 + \beta_1(1 / DAP) + \beta_2LnHd + \beta_3(1 / I) + \varepsilon_i$	
3	$LnHt = \beta_0 + \beta_1(1 / DAP) + \beta_2Hd + \beta_3I + \varepsilon_i$	
4	$Ht = \beta_0 + \beta_1(DAP \cdot LnHd) + \beta_2(1 / I) + \varepsilon_i$	
5	$Ht = \beta_0 + \beta_1(DAP \cdot LnHd \cdot LnI) + \varepsilon_i$	
6	$Ht = \frac{\beta_0}{(1 + \exp(\beta_1 - \beta_2 \cdot (DAP \cdot LnHd \cdot LnI)))^{1/\beta_3}} + \varepsilon_i$	(Richards)
7	$Ht = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 \exp(-\beta_2 \cdot (DAP \cdot LnHd \cdot LnI)))} + \varepsilon_i$	(Logística)
8	$Ht = \beta_0 - \beta_1 \exp(-\beta_2 \cdot (DAP \cdot LnHd \cdot LnI)^{\beta_3}) + \varepsilon_i$	(Weibull)

em que: β_i = parâmetros dos modelos; e ε_i = erro aleatório.

A escolha da melhor equação foi feita com base nos seguintes critérios:

a) análise gráfica dos resíduos percentuais (R%), calculados pela seguinte expressão:

$$R\% = \frac{\hat{Y} - Y}{Y} \times 100 \quad (14)$$

em que

\hat{Y} = Altura estimada das árvores, em metros;

Y = Altura observada das árvores, em metros.

b) coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados ao quadrado $(r_{\hat{y}y})^2$;

c) coeficiente de variação (CV%)

Como os modelos têm naturezas diferentes, houve a necessidade de calcular o coeficiente de determinação e o coeficiente de variação conforme as expressões abaixo:

$$R^2 = (r_{\hat{y}y})^2 \quad (15)$$

tal que

$$r_{\hat{y}y} = \frac{\sum y \hat{y} - \frac{\sum y \sum \hat{y}}{n}}{\sqrt{\left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right) \times \left(\sum \hat{y}^2 - \frac{(\sum \hat{y})^2}{n} \right)}} \quad (16)$$

e

$$CV\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n - p - 1}}}{\bar{y}} \times 100 \quad (17)$$

sendo

$r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação linear;

\hat{y} = valor estimado da variável dependente nas unidades originais;

y = valor observado da variável dependente nas unidades originais;

n = número de observações;

p = número de variáveis independentes;

\bar{y} = média aritmética observada da variável dependente, nas unidades originais.

De posse da média das alturas totais das árvores dominantes (Hd) de cada parcela, em cada idade, foi realizada a classificação da capacidade produtiva por meio do Método da Curva-Guia (CLUTTER et al., 1983), sendo ajustados e avaliados os seguintes modelos:

$$Hd = \frac{\beta_0}{1 + \beta_1 \exp(-\beta_2 I)} + \varepsilon_i \quad (\text{Logística}) \quad (18)$$

$$\text{LnHd} = \beta_0 + \beta_1 / I + \varepsilon_i \quad (\text{Shumacher}) \quad (19)$$

em que: Ln = logaritmo neperiano; β_0 , β_1 e β_2 = parâmetros dos modelos; e ε_i = erro aleatório.

A escolha da melhor equação foi feita baseando-se nos mesmos critérios adotados anteriormente para as equações hipsométricas.

3.3. Equações de volume

As parcelas permanentes selecionadas para o estudo estavam localizadas em seis diferentes áreas. Assim sendo, foram utilizadas as seguintes equações de volume com casca e sem casca por árvore individual, fornecidas pela empresa, para totalizar os volumes das parcelas (Quadro 2):

Quadro 2 - Equações de volume com e sem casca por árvore individual

Equações	Área
$\text{LnVtcc} = -11,1459220 + 1,8866990 \text{LnDAP} + 1,3733330 \text{LnHt}$	001
$\text{LnVtsc} = -11,6610140 + 1,8430860 \text{LnDAP} + 1,5320340 \text{LnHt}$	
$\text{LnVtcc} = -9,8504752 + 1,7856259 \text{LnDAP} + 1,0923825 \text{LnHt}$	016
$\text{LnVtsc} = -10,2110960 + 1,8889508 \text{LnDAP} + 1,0513217 \text{LnHt}$	
$\text{LnVtcc} = -10,1626550 + 1,8427101 \text{LnDAP} + 1,1041629 \text{LnHt}$	026
$\text{LnVtsc} = -10,5675160 + 1,8799677 \text{LnDAP} + 1,1514955 \text{LnHt}$	
$\text{LnVtcc} = -10,6367330 + 1,9185875 \text{LnDAP} + 1,2004476 \text{LnHt}$	041
$\text{LnVtsc} = -11,0403850 + 1,9395335 \text{LnDAP} + 1,2640400 \text{LnHt}$	
$\text{LnVtcc} = -10,5082450 + 1,8839540 \text{LnDAP} + 1,1755465 \text{LnHt}$	042
$\text{LnVtsc} = -10,8661310 + 1,8764265 \text{LnDAP} + 1,2535323 \text{LnHt}$	
$\text{LnVtcc} = -10,3822050 + 1,8935363 \text{LnDAP} + 1,1283936 \text{LnHt}$	077
$\text{LnVtsc} = -10,8053060 + 1,8828352 \text{LnDAP} + 1,2287398 \text{LnHt}$	

3.4. Análise das variáveis do povoamento e dos componentes do crescimento

Para verificar o grau de associação entre as variáveis do povoamento, foi elaborada uma matriz de correlação linear simples (r), calculada por (STEEL e TORRIE, 1960):

$$r = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right) \times \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right)}} \quad (20)$$

em que

n = número de observações;

Σ = somatório das variáveis; e

X e Y = variáveis do povoamento (diâmetro médio, área basal, número de árvores etc).

Para analisar o crescimento em volume com e sem casaca por hectare, e em área basal por hectare, dos povoamentos de eucalipto, em diferentes capacidades produtivas, ajustou-se o modelo de CLUTTER (1963), assim definido:

$$\begin{cases} \text{Ln}V_2 = \beta_0 + \beta_1 / I_2 + \beta_2(S_1) + \beta_3(\text{ln } B_2) + \varepsilon_i & (21a) \\ \text{Ln}B_2 = \text{ln } B_1(I_1 / I_2) + \alpha_1(1 - (I_1 / I_2)) + \alpha_2((1 - (I_1 / I_2))S_1) + \varepsilon_i & (21b) \end{cases}$$

em que

I_1 = idade atual, em meses;

I_2 = idade futura, em meses;

S_1 = índice de local, na idade I_1 em m;

B_1 = área basal inicial, em m²/ha;

V_2 = volume futuro com ou sem casca, em m³/ha;

B_2 = área basal futura, em m²/ha;

Ln = logaritmo neperiano;

$\beta_0 \dots \beta_3$ = parâmetros do modelo que projeta o volume;

α_0 e α_1 = parâmetros do modelo que projeta a área basal; e

ε_i = erro aleatório.

As equações resultantes do ajuste do modelo de CLUTTER (1963), foram avaliadas, analisando-se as suas medidas de precisão – coeficiente de determinação (R^2), erro padrão da estimativa ($S_{y.x}$) e coeficiente de variação (CV%) – e os gráficos de dispersão das áreas basais e dos volumes por hectare observados em relação aos estimados pelas equações.

Foram elaboradas tabelas de produção de densidade variável e gráficos para identificar pontos de máximo incremento corrente mensal (ICM) e máximo incrementos médio mensal (IMM), em diferentes capacidades produtivas, para definir as idades técnicas de colheita (ITC) e a estagnação do crescimento em área basal por hectare.

Para analisar o comportamento das variáveis do povoamento altura total média (Ht); altura média das árvores dominantes (Hd); diâmetro médio ou quadrático (q) e número de árvores por hectare (N), ao longo do tempo, em diferentes capacidades produtivas, foram ajustados o modelo apresentado por PIENAAR e SCHIVER (1981), originalmente proposto para descrever a sobrevivência de árvores, o qual é dado por:

$$Y_2 = Y_1 \exp[-\beta_0(I_2^{\beta_1} - I_1^{\beta_1})] \cdot \varepsilon_i, \quad (22)$$

em que

Y_2 = estimativa da variável do povoamento em uma idade futura;

Y_1 = estimativa da variável do povoamento em uma idade atual;

I_1 = idade atual, em meses;

I_2 = idade futura, em meses;

$\beta_0 \dots \beta_3$ = parâmetros do modelo; e

ε_i = erro aleatório.

As equações resultantes dos ajustes foram avaliadas por meio do coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados ao quadrado ($r_{y\hat{y}}^2$); do erro padrão da estimativa ($S_{y.x}$); do coeficiente de variação (CV%); e da análise gráfica da dispersão dos valores observados em relação aos estimados pelas equações.

Como complemento, foram elaborados gráficos mostrando o comportamento das variáveis do povoamento ao longo do tempo e em diferentes capacidades produtivas, bem

como foram elaborados gráficos de incremento corrente mensal (ICM) para verificar o comportamento destas variáveis.

As árvores dentro das parcelas foram classificadas e agrupadas em classe de 2,0 cm de amplitude com o objetivo de caracterizar a distribuição diamétrica do povoamento, em diferentes classes de produtividade. Gráficos de barras coloridos foram elaborados para possibilitar a verificação das mudanças da estrutura diamétrica dos povoamentos, bem como para verificar a dinâmica dos componentes do crescimento como o ingresso, a mortalidade e o crescimento propriamente dito.

A distribuição diamétrica das árvores possibilitou, também, a elaboração de matrizes de probabilidades de transição, através da seguinte expressão (HILLER e LIEBERMAN, 1980):

$$P_{ij} = \frac{n}{N} \quad (22)$$

em que

P_{ij} = probabilidade de transição;

n = número de indivíduos que mudaram ou não da classe i , no tempo t , para a classe j , no tempo $t+1$,

N = número total de indivíduos na classe i , no tempo t .

Através da análise das probabilidades de transição foi possível avaliar o vigor das árvores dentro das classes diamétricas, além da mortalidade de árvores ao longo do tempo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Seleção do modelo hipsométrico

As equações 1, 2 e 3 (Quadro 3), foram os que apresentaram os menores coeficientes de variação e os maiores coeficientes de determinação. O modelo 4, apresentou problema de não significância em um dos parâmetros da equação.

Quadro 3 – Equações ajustadas para altura total (Ht) e suas respectivas medidas de precisão

Nº	Equações	$r_{\hat{y}y}^2$	CV%
1	$LnHt = 1,757519 - 7,50424(1/DAP) + 0,609988(LnHd) - 0,0022729(I)$	90,8	9,11
2	$LnHt = 1,559557 - 7,49314(1/DAP) + 0,606914(LnHd) + 3,944143(1/I)$	90,6	9,20
3	$LnHt = 3,065898 - 7,527748(1/DAP) + 0,025639(Hd) - 0,002207(I)$	91,0	8,94
4	$Ht = 4,726670 + 0,355369(DAP \cdot LnHd) + 0,1004823^{ns}(1/I)$	87,1	10,52
5	$Ht = 7,242398 + 0,075753(DAP \cdot LnHd \cdot LnI)$	82,2	12,35
6	$Ht = \frac{35,569085}{(1 + \exp(0,285042 - 0,008615(DAP \cdot LnHd \cdot LnI)))^{1/0,493060}}$	83,7	11,82
7	$Ht = \frac{34,271286}{(1 + 3,950254 \exp(-0,010586(DAP \cdot LnHd \cdot LnI)))}$	83,7	11,81
8	$Ht = 36,987580 - 30,433972 \exp(-0,000499(DAP \cdot LnHd \cdot LnI)^{1,388275})$	83,7	11,79

^{ns} Valor não significativo à 5%, pelo teste t.

As equações 6, 7 e 8 apresentaram ajustes bem próximos em termos de medidas de precisão, porém foram menos precisas do que as equações 1, 2 e 3.

Mediante a análise da dispersão dos resíduos em porcentagem (Figura 6), verificou-se que as três primeiras equações apresentaram alta dispersão dos resíduos para árvores de menores diâmetros. Já as equações 4 e 5 demonstram uma tendência de superestimar as alturas das árvores pequenas e das árvores grandes.

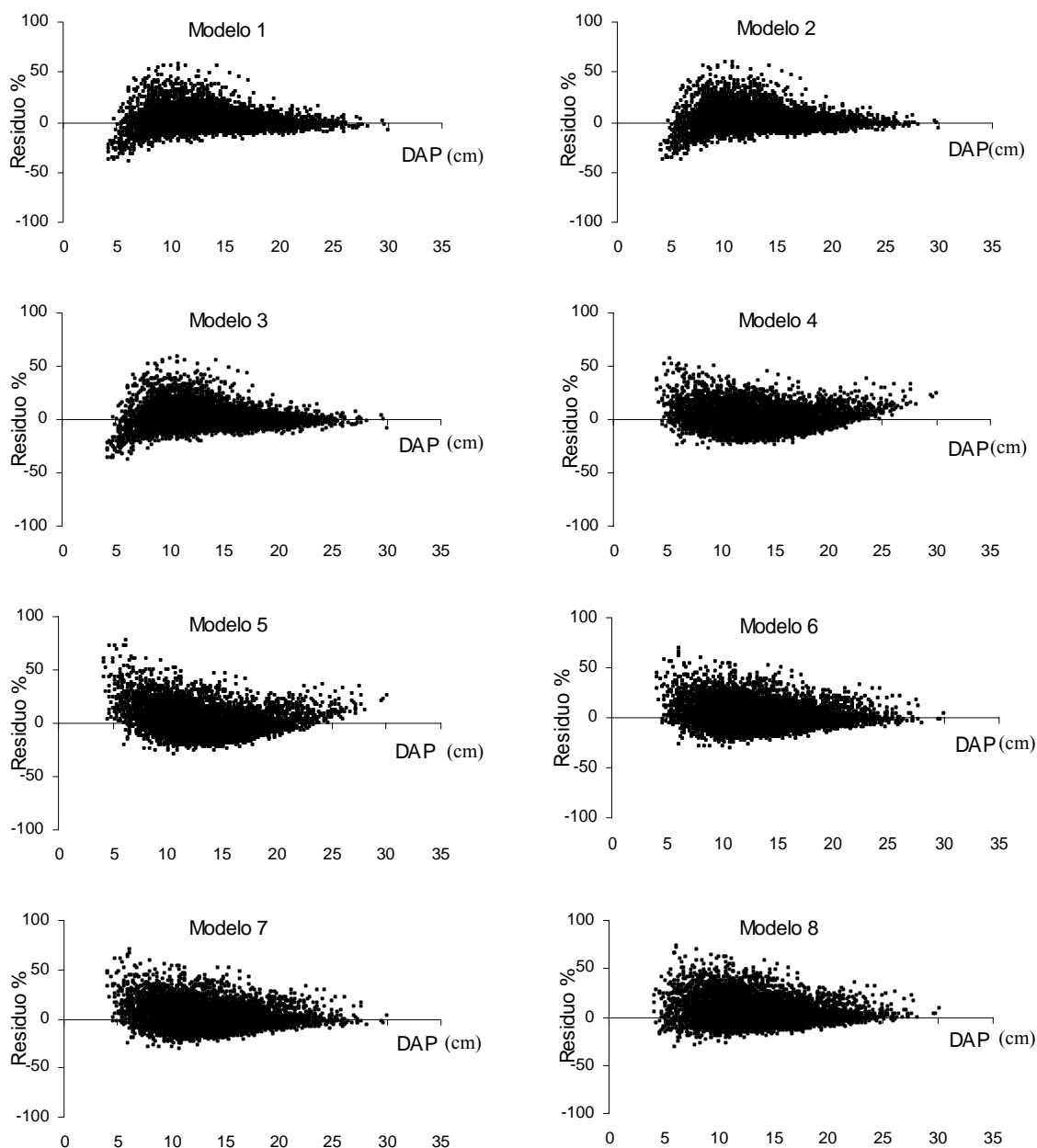


Figura 6 – Resíduos percentuais dos modelos hipsométricos.

As equações 6, 7 e 8 apresentaram distribuição dos resíduos mais adequadas do que as das equações 1, 2, 3, 4 e 5, embora haja uma leve tendência de superestimar as alturas das árvores de menores diâmetros (Figura 6). Dessa forma, apesar das equações não-lineares não se destacarem com relação às medidas de precisão (Quadro 3), elas foram consideradas mais apropriadas para estimar a altura total das árvores. Assim sendo, dentre estas equações selecionou-se a de número 8.

4.2. Classificação da capacidade produtiva

As equações resultantes dos ajustes dos modelos testados para classificar a capacidade produtiva foram:

$$Hd = \frac{29,620757}{1 + 1,8694288 \exp(-0,046439622 \cdot I)} \quad r_{\hat{y}y}^2 = 47,70\%; \text{ CV}\% = 10,01\% \quad (23)$$

$$\text{Ln}Hd = 3,510492274 - 14,88011596I^{-1} \quad r_{\hat{y}y}^2 = 49,95\%; \text{ CV}\% = 9,68\% \quad (24)$$

A equação 24 apresentou maior coeficiente de determinação e menor coeficiente de variação. A Figura 7 mostra que em termos de distribuição dos resíduos, as equações apresentaram comportamentos semelhantes. Assim sendo, selecionou-se a equação 24 para estimar a altura dominante média de cada parcela.

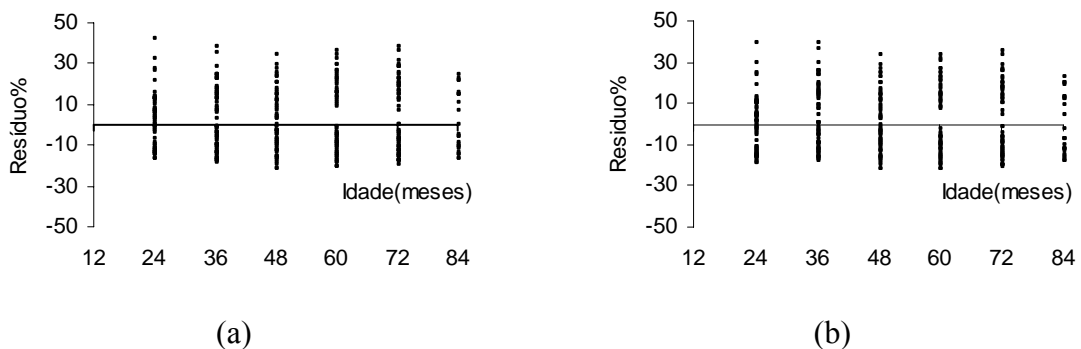


Figura 7 – Distribuição dos resíduos percentuais para o modelo Logístico (a) e o modelo de Shumacher linearizado (b).

De posse da equação selecionada e considerando uma idade-índice de 60 meses, procedeu-se à construção das curvas de índice de local, utilizando a expressão a seguir:

$$\text{Ln}Hd = \text{Ln}S - 14,88011596 \left(\frac{1}{I} - \frac{1}{60} \right) \quad (25)$$

A curva-guia e as respectivas curvas de índice de local podem ser visualizadas na Figura 8.

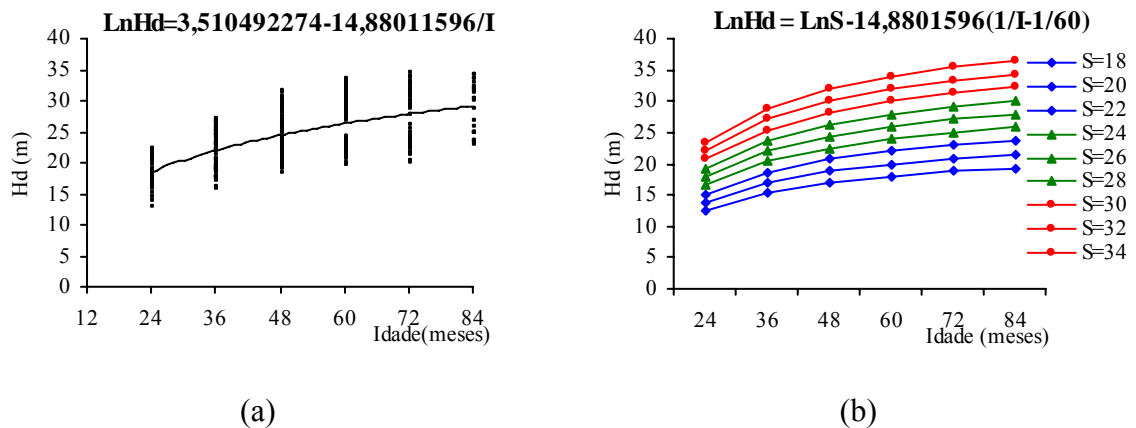


Figura 8 – Curva-guia (a) e curvas de índice de local (b).

De acordo com as curvas geradas, estabeleceram-se os seguintes limites para a classificação das parcelas nas classes de produtividade:

=> Baixa (S=20)

$Hd \leq 23$ m, aos 60 meses;

=> Média (S=26)

$23 > Hd \leq 29$ m, aos 60 meses; e

=> Alta (S=32)

$Hd > 29$ m, aos 60 meses.

4.3. Análise das variáveis do povoamento

As estimativas dos parâmetros populacionais diâmetro médio (q), área basal por hectare (B), número de árvores por hectare (N), altura dominante média (Hd), altura total média (Ht), volume total com casca ($Vtcc$) e volume total sem casca ($Vtsc$), observados por classe de capacidade produtiva, com seus valores de mínimo (Min), média (Med), máximo (Max), bem como os desvios padrões (s), para cada idade, são apresentados no Quadro 4.

As correlações lineares entre as variáveis do povoamento e a idade (Quadro 5) foram todas positivas, em todas as classes de produtividade, exceto para o número de árvores por hectare (N). Esta mesma tendência foi verificada por SCHNEIDER et al. (2005), estudando o parâmetro mortalidade, por meio do número de árvores sobreviventes, em plantios de *Acácia mearnsii* De Wild, na região sul do Brasil.

Quadro 4 – Valores mínimo (Min), médio (Med), máximo (Max) e desvios padrões (s) observados para os parâmetros populacionais, por classe de produtividade

Parâmetro	Idade	Alta (S=32)				Média (S=26)				Baixa (S=20)			
		Min	Med	Max	s	Min	Med	Max	S	Min	Med	Max	s
q (cm)	24	10,2	12,6	13,4	0,75	9,2	10,9	12,6	0,99	7,3	9,2	10,1	0,61
	36	12,4	14,4	15,3	0,73	10,8	12,5	14,2	1,15	8,9	10,4	11,3	0,61
	48	13,9	15,5	16,5	0,74	11,8	13,7	15,4	1,17	9,9	11,3	12,4	0,72
	60	14,9	16,6	17,9	0,79	12,6	14,8	16,8	1,28	10,8	12,0	13,3	0,79
	72	16,1	17,7	19,0	0,84	13,1	15,8	17,7	1,38	11,3	12,7	14,2	0,87
B (m ² /ha)	24	7,79	13,77	15,86	1,90	6,25	9,92	14,25	2,21	4,72	6,81	8,22	0,98
	36	11,61	17,34	20,32	1,88	8,11	13,01	17,78	2,90	7,01	8,50	10,07	1,00
	48	12,83	19,27	23,11	2,26	9,81	15,30	19,81	3,21	8,08	10,00	12,25	1,09
	60	14,39	21,20	24,75	2,51	11,93	17,43	23,32	3,72	8,93	11,14	13,84	1,22
	72	16,19	22,95	27,24	2,70	13,10	19,40	26,65	4,19	9,49	11,96	15,86	1,40
N (árvores/ha)	24	940,0	1104,8	1220,0	64,46	880,0	1049,5	1240,0	94,15	760,0	1034,3	1180,0	120,36
	36	940,0	1070,5	1140,0	54,63	880,0	1040,0	1240,0	95,50	760,0	1014,3	1160,0	115,61
	48	840,0	1016,2	1120,0	83,81	860,0	1021,0	1220,0	96,22	760,0	1001,9	1140,0	116,43
	60	740,0	979,0	1120,0	96,43	860,0	997,1	1180,0	94,29	760,0	983,8	1160,0	116,38
	72	700,0	938,1	1100,0	98,37	840,0	981,9	1180,0	106,94	740,0	942,9	1140,0	107,20
Hd (m)	24	17,36	20,75	22,14	1,30	15,16	18,07	21,34	1,56	12,88	16,27	18,48	1,41
	36	22,86	25,23	26,98	1,26	18,66	21,95	25,22	1,94	15,90	18,39	20,72	1,25
	48	25,28	28,66	31,60	1,70	21,54	24,84	27,44	1,70	18,32	20,92	23,80	1,36
	60	29,06	31,26	33,52	1,37	23,28	26,69	28,98	2,17	19,52	21,57	23,00	1,08
	72	29,74	32,32	34,46	1,40	24,00	28,14	32,54	2,68	20,06	22,47	24,22	1,14
Ht (m)	24	13,4	16,1	16,9	0,88	12,4	14,3	16,1	1,09	10,5	12,5	13,5	0,65
	36	17,4	19,8	20,8	0,86	14,9	17,5	19,7	1,49	13,1	14,8	15,9	0,68
	48	19,9	22,4	23,5	0,97	16,3	20,1	22,3	1,62	15,1	16,9	18,3	0,86
	60	22,2	24,5	26,0	0,99	17,9	22,1	24,5	1,78	16,8	18,4	20,0	0,97
	72	23,9	26,2	27,6	0,95	19,1	23,7	26,2	1,90	18,1	19,8	21,5	1,13
V _{tcc} (m ³ /ha)	24	47,46	94,37	111,68	15,11	41,99	64,66	96,68	14,69	23,84	41,88	55,74	6,73
	36	99,45	156,90	187,48	19,75	67,94	109,55	158,58	26,52	46,53	63,48	85,92	8,70
	48	127,19	204,86	248,16	27,94	95,65	150,44	204,26	34,53	62,10	87,13	122,88	13,32
	60	160,16	252,27	301,05	34,30	124,14	191,39	216,01	46,29	73,92	106,63	149,55	17,58
	72	194,01	294,84	353,91	39,97	143,66	230,50	324,18	57,36	84,39	123,92	185,47	22,62
V _{tsc} (m ³ /ha)	24	40,44	79,29	94,15	12,62	33,44	53,96	81,05	12,78	19,24	34,10	44,41	5,60
	36	86,13	135,49	161,93	17,07	54,36	93,28	136,70	24,05	38,37	52,28	68,82	7,32
	48	111,23	179,72	217,63	24,76	76,94	129,51	178,61	32,01	51,76	72,36	99,03	10,84
	60	114,13	223,64	267,28	30,79	105,65	166,18	229,64	43,27	62,08	89,04	120,96	14,04
	72	171,81	263,05	316,07	36,14	124,09	201,89	289,10	56,62	71,26	103,91	150,48	17,82

Verificou-se (Quadro 5), um alto grau de associação entre o volume por hectare e variáveis do povoamento como área basal (B), altura dominante (Hd), diâmetro médio (q), idade (I), as quais são normalmente utilizadas nos modelos de crescimento e produção do tipo povoamento total (DAVIS e JOHNSON, 1987).

Quadro 5 – Correlações lineares entre as variáveis do povoamento, para três classes de produtividade, Alta (S=32), Média (S=26) e Baixa (S=20)

Alta (S=32)								
Variáveis	I (meses)	q (cm)	B (m ² /ha)	N (árvo/ha)	Hd (m)	Ht (m)	Vtcc (m ³ /ha)	Vtsc (m ³ /ha)
I (meses)	1,0000							
q (cm)	0,9169	1,0000						
B (m ² /ha)	0,7987	0,9085	1,0000					
N (árvo/ha)	-0,6421	-0,5936	-0,2160	1,0000				
Hd (m)	0,9238	0,9319	0,8742	-0,5087	1,0000			
Ht (m)	0,9536	0,9828	0,9044	-0,5763	0,9689	1,0000		
Vtcc (m ³ /ha)	0,9182	0,9628	0,9631	-0,4328	0,9430	0,9713	1,0000	
Vtsc (m ³ /ha)	0,9222	0,9629	0,9592	-0,4418	0,9442	0,9721	0,9999	1,0000

Média (S=26)								
Variáveis	I (meses)	q (cm)	B (m ² /ha)	N (árvo/ha)	Hd (m)	Ht (m)	Vtcc (m ³ /ha)	Vtsc (m ³ /ha)
I (meses)	1,0000							
q (cm)	0,8563	1,0000						
B (m ² /ha)	0,7307	0,9384	1,0000					
N (árvo/ha)	-0,3798	-0,1944	-0,1309	1,0000				
Hd (m)	0,8675	0,9583	0,9146	-0,1377	1,0000			
Ht (m)	0,9158	0,9829	0,9146	-0,2142	0,9713	1,0000		
Vtcc (m ³ /ha)	0,8534	0,9665	0,9681	-0,0730	0,9456	0,9632	1,0000	
Vtsc (m ³ /ha)	0,8230	0,9601	0,9695	-0,0546	0,9400	0,9492	0,9919	1,0000

Baixa (S=20)								
Variáveis	I (meses)	q (cm)	B (m ² /ha)	N (árvo/ha)	Hd (m)	Ht (m)	Vtcc (m ³ /ha)	Vtsc (m ³ /ha)
I (meses)	1,0000							
q (cm)	0,8874	1,0000						
B (m ² /ha)	0,8538	0,8919	1,0000					
N (árvo/ha)	-0,3482	-0,5317	-0,1309	1,0000				
Hd (m)	0,8698	0,8971	0,8965	-0,2862	1,0000			
Ht (m)	0,9517	0,9781	0,9051	-0,4523	0,9349	1,0000		
Vtcc (m ³ /ha)	0,90,27	0,9531	0,9568	-0,3306	0,9003	0,9579	1,0000	
Vtsc (m ³ /ha)	0,9106	0,9504	0,9683	-0,3028	0,9087	0,9563	0,9979	1,0000

4.3.1. Volume e área basal por hectare

O modelo de CLUTTER (1963), ajustou-se bem aos dados observados, haja vista as medidas de precisão das equações que projetam o volume com e sem casca por hectare e a área basal por hectare, dadas a seguir:

$$\ln V_{tcc} = 2,1656 - 23,5127 \left(\frac{1}{I_2} \right) + 0,0157 (S_1) + 1,0704 (\ln B_2)$$

$$r_{\hat{y}y}^2 = 0,9824; \quad S_{y,x} = 0,0628 \ln(\text{m}^3/\text{ha}); \quad \text{CV} = 4,86\%$$

$$\ln V_{tsc} = 1,7793 - 23,3495 \left(\frac{1}{I_2} \right) + 0,0195 (S_1) + 1,1169 (\ln B_2)$$

$$r_{\hat{y}y}^2 = 0,9836; \quad S_{y,x} = 0,0654 \ln(\text{m}^3/\text{ha}); \quad \text{CV} = 9,00\%$$

$$\ln B_2 = \ln B_1 \left(\frac{I_1}{I_2} \right) + 1,2614 \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \right) + 0,0696 \left(1 - \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \right) S_1$$

$$r_{\hat{y}y}^2 = 0,9667; \quad S_{y,x} = 0,0628 \ln(\text{m}^2/\text{ha}); \quad \text{CV} = 6,08\%$$

Analisando os gráficos apresentados na Figura 9, verificou-se a exatidão das estimativas de volume e área basal por hectare. Contudo, observou-se uma leve tendência de subestimação para os maiores valores de volumes sem casca por hectare e área basal, e uma leve tendência de superestimação para os maiores valores de volumes com casca.

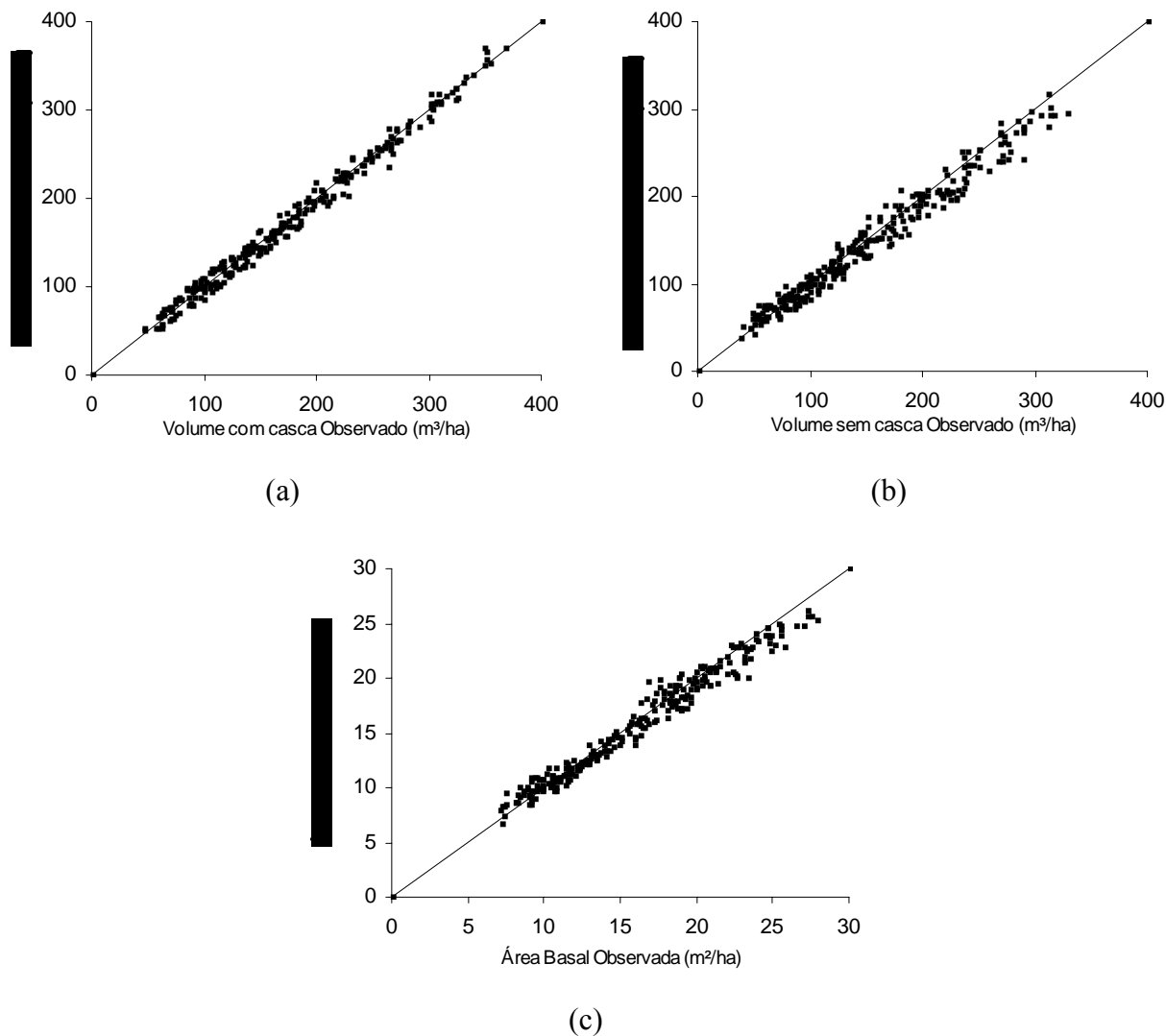


Figura 9- Relação entre valores observados e estimados para o volume com casca por hectare (a), volume sem casca por hectare (b) e área basal por hectare (c).

Com as equações ajustadas foram elaboradas tabelas de produção de densidade variável para o volume com e sem casca por hectare (Quadros 6 e 7), as quais também incluem estimativas de incrementos médios mensais (IMM) e incrementos correntes mensais (ICM). Observou-se que quanto maior a capacidade, menor a idade em que ocorre o máximo incremento médio mensal (valores destacados na tabela), tanto para o volume com casca quanto para o volume sem casca por hectare.

Quadro 6 – Tabela de produção de densidade variável para o volume total com casca por hectare considerando três classes de índice de local (S)

Idade (meses)	Baixa (S=20)				Média (S=26)				Alta (S=32)			
	B	Vtcc	IMM	ICM	B	Vtcc	IMM	ICM	B	Vtcc	IMM	ICM
24	4,57	22,78	0,95		8,61	49,33	2,06		14,98	98,13	4,09	
26	4,98	26,97	1,04	2,10	9,24	57,37	2,21	4,02	15,91	112,86	4,34	7,36
28	5,37	31,17	1,11	2,10	9,81	65,30	2,33	3,97	16,76	127,23	4,54	7,19
30	5,73	35,33	1,18	2,08	10,34	73,06	2,44	3,88	17,52	141,15	4,71	6,96
32	6,07	39,43	1,23	2,05	10,83	80,60	2,52	3,77	18,22	154,58	4,83	6,72
34	6,38	43,44	1,28	2,00	11,28	87,89	2,59	3,65	18,86	167,49	4,93	6,45
36	6,67	47,35	1,32	1,95	11,69	94,93	2,64	3,52	19,45	179,87	5,00	6,19
38	6,94	51,14	1,35	1,90	12,08	101,70	2,68	3,39	19,99	191,71	5,05	5,92
40	7,19	54,81	1,37	1,84	12,43	108,21	2,71	3,25	20,49	203,04	5,08	5,66
42	7,43	58,36	1,39	1,77	12,76	114,45	2,73	3,12	20,96	213,86	5,09	5,41
44	7,65	61,78	1,40	1,71	13,07	120,44	2,74	3,00	21,39	224,20	5,10	5,17
46	7,86	65,08	1,41	1,65	13,36	126,19	2,74	2,87	21,79	234,08	5,09	4,94
48	8,06	68,26	1,42	1,59	13,63	131,69	2,74	2,75	22,16	243,51	5,07	4,72
50	8,24	71,33	1,43	1,53	13,88	136,97	2,74	2,64	22,51	252,53	5,05	4,51
52	8,42	74,28	1,43	1,47	14,12	142,03	2,73	2,53	22,84	261,15	5,02	4,31
54	8,58	77,12	1,43	1,42	14,34	146,87	2,72	2,42	23,15	269,39	4,99	4,12
56	8,74	79,85	1,43	1,37	14,55	151,53	2,71	2,33	23,44	277,28	4,95	3,94
58	8,88	82,48	1,42	1,32	14,75	155,99	2,69	2,23	23,71	284,83	4,91	3,77
60	9,02	85,02	1,42	1,27	14,94	160,27	2,67	2,14	23,97	292,06	4,87	3,62
62	9,16	87,46	1,41	1,22	15,12	164,39	2,65	2,06	24,21	298,99	4,82	3,47
64	9,28	89,82	1,40	1,18	15,29	168,34	2,63	1,98	24,44	305,64	4,78	3,32
66	9,41	92,08	1,40	1,13	15,45	172,14	2,61	1,90	24,66	312,01	4,73	3,19
68	9,52	94,27	1,39	1,09	15,60	175,79	2,59	1,83	24,87	318,14	4,68	3,06
70	9,63	96,38	1,38	1,06	15,75	179,31	2,56	1,76	25,06	324,03	4,63	2,94
72	9,73	98,42	1,37	1,02	15,89	182,69	2,54	1,69	25,25	329,68	4,58	2,83

Quadro 7 – Tabela de produção de densidade variável para volume total sem casca por hectare considerando três classes de índice de local (S)

Idade (meses)	Baixa (S=20)				Média (S=26)				Alta (S=32)			
	B	Vtsc	IMM	ICM	B	Vtsc	IMM	ICM	B	Vtsc	IMM	ICM
24	4,57	17,88	0,74		8,61	40,80	1,70		14,98	85,14	3,55	
26	4,98	21,28	0,82	1,70	9,24	47,67	1,83	3,43	15,91	98,28	3,78	6,57
28	5,37	24,71	0,88	1,71	9,81	54,46	1,94	3,40	16,76	111,15	3,97	6,43
30	5,73	28,12	0,94	1,71	10,34	61,12	2,04	3,33	17,52	123,65	4,12	6,25
32	6,07	31,50	0,98	1,69	10,83	67,62	2,11	3,25	18,22	135,75	4,24	6,05
34	6,38	34,81	1,02	1,66	11,28	73,93	2,17	3,15	18,86	147,40	4,34	5,82
36	6,67	38,04	1,06	1,62	11,69	80,03	2,22	3,05	19,45	158,59	4,41	5,60
38	6,94	41,19	1,08	1,57	12,08	85,91	2,26	2,94	19,99	169,32	4,46	5,37
40	7,19	44,24	1,11	1,53	12,43	91,57	2,29	2,83	20,49	179,60	4,49	5,14
42	7,43	47,20	1,12	1,48	12,76	97,01	2,31	2,72	20,96	189,43	4,51	4,92
44	7,65	50,06	1,14	1,43	13,07	102,24	2,32	2,61	21,39	198,84	4,52	4,70
46	7,86	52,82	1,15	1,38	13,36	107,26	2,33	2,51	21,79	207,84	4,52	4,50
48	8,06	55,49	1,16	1,33	13,63	112,08	2,33	2,41	22,16	216,44	4,51	4,30
50	8,24	58,06	1,16	1,29	13,88	116,70	2,33	2,31	22,51	224,67	4,49	4,12
52	8,42	60,54	1,16	1,24	14,12	121,13	2,33	2,22	22,84	232,55	4,47	3,94
54	8,58	62,93	1,17	1,20	14,34	125,39	2,32	2,13	23,15	240,09	4,45	3,77
56	8,74	65,23	1,16	1,15	14,55	129,48	2,31	2,04	23,44	247,30	4,42	3,61
58	8,88	67,46	1,16	1,11	14,75	133,40	2,30	1,96	23,71	254,22	4,38	3,46
60	9,02	69,60	1,16	1,07	14,94	137,18	2,29	1,89	23,97	260,85	4,35	3,31
62	9,16	71,66	1,16	1,03	15,12	140,80	2,27	1,81	24,21	267,20	4,31	3,18
64	9,28	73,65	1,15	1,00	15,29	144,28	2,25	1,74	24,44	273,31	4,27	3,05
66	9,41	75,57	1,15	0,96	15,45	147,64	2,24	1,68	24,66	279,16	4,23	2,93
68	9,52	77,43	1,14	0,93	15,60	150,86	2,22	1,61	24,87	284,79	4,19	2,81
70	9,63	79,21	1,13	0,89	15,75	153,97	2,20	1,55	25,06	290,20	4,15	2,70
72	9,73	80,94	1,12	0,86	15,89	156,96	2,18	1,50	25,25	295,40	4,10	2,60

Segundo CAMPOS et al. (1996), com muita frequência, tabelas de produção dessa categoria contêm volumes contraditórios e em desacordo com a capacidade produtiva do local, em virtude dos valores adotados para a área basal inicial (B_i).

Dessa forma, as áreas basais iniciais (B_i), considerando a idade aos 24 meses, para as três classes de índice de local (S), nos Quadros 6 e 7, foram obtidas através da seguinte equação (CAMPOS et al., 1996):

$$B_i = \exp(4,68743 - 63,3728(1/S))$$

$$r_{yy}^2 = 0,885; \quad S_{y,x} = 1,1658(\text{m}^2/\text{ha}); \quad \text{CV} = 11,58\%$$

De acordo com as estimativas apresentadas nos Quadros 6 e 7 e o comportamento apresentado nas Figuras 10 e 11, tem-se as seguintes idades onde ocorreram os máximos incrementos médios mensais (IMM), ou seja, as idades técnicas de colheita (Quadro 8):

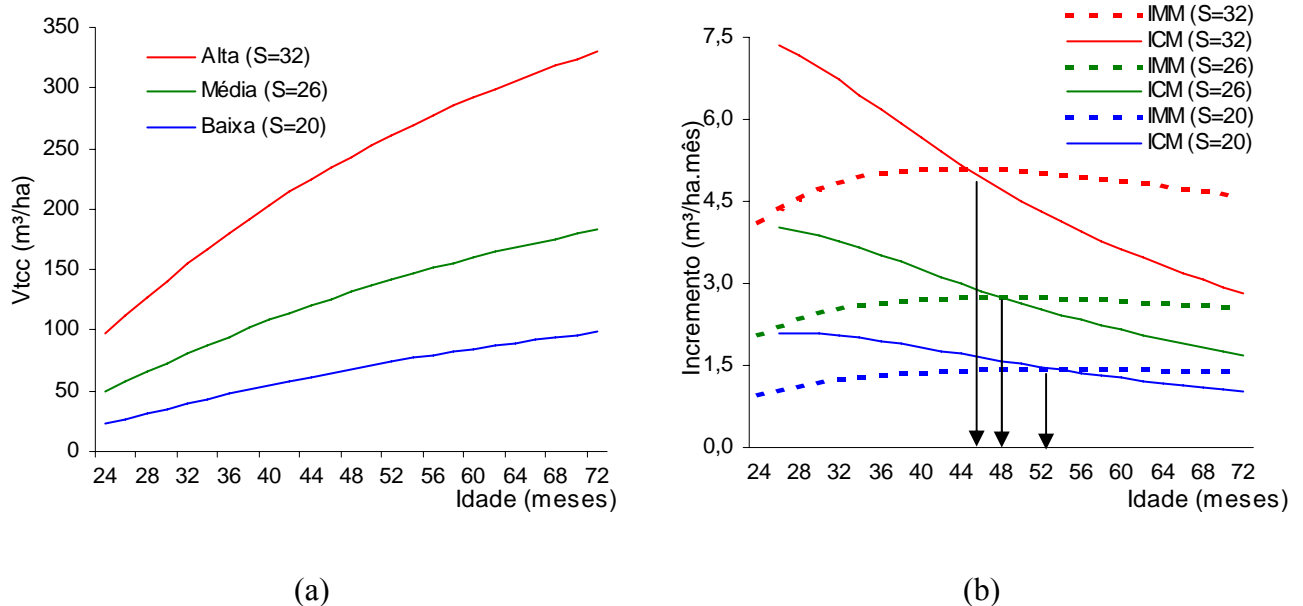


Figura 10 - Curvas de produção em volume com casca (V_{tcc}) por hectare (a) e curvas de incremento médio (IMM) e corrente (ICM) mensais, em $\text{m}^3/\text{ha}\cdot\text{mês}$ (b), em diferentes classes de produtividade.

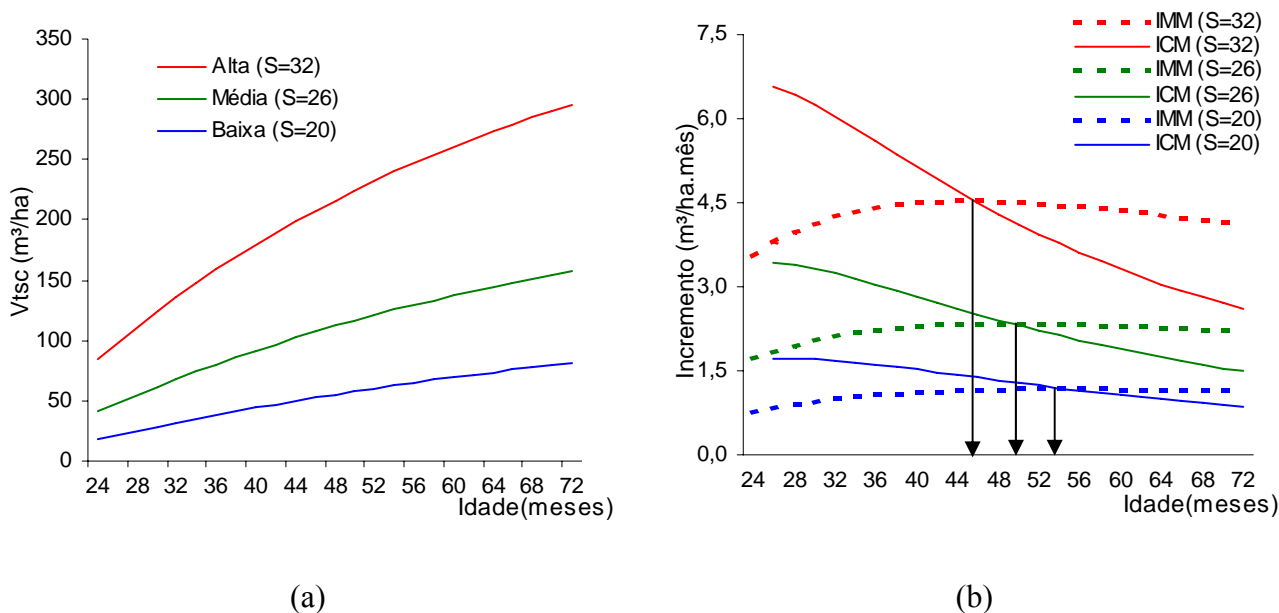


Figura 11- Curvas de produção em volume sem casca (Vtcc) por hectare (a) e curvas de incremento médio (IMM) e corrente (ICM) mensais, em m³/ha.mês (b), em diferentes classes de produtividade.

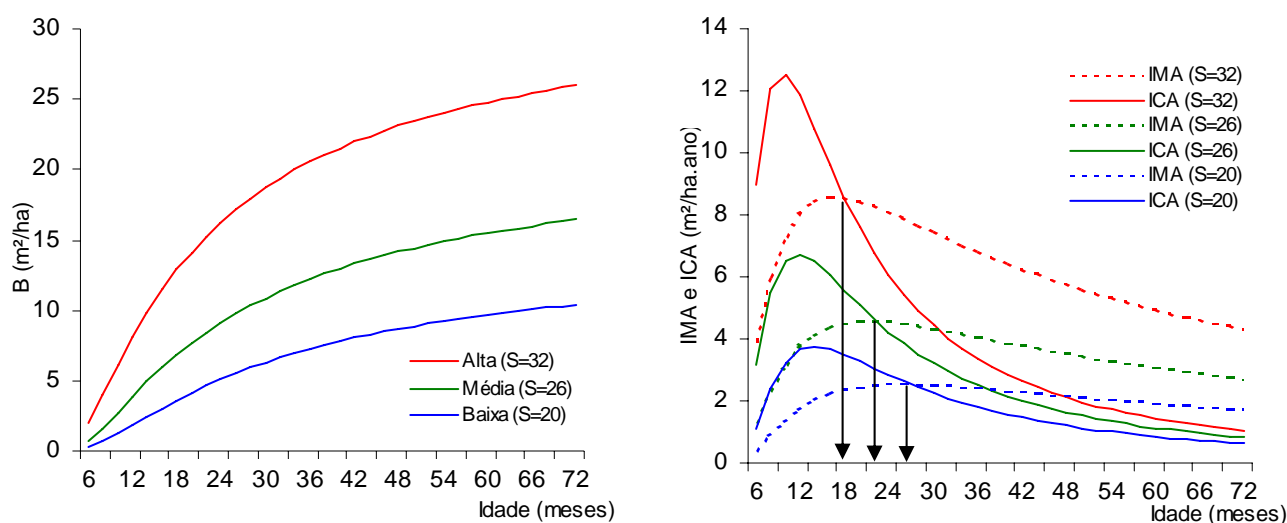
Quadro 8 – Idades técnicas de colheita (ITCs) para os volumes com e sem casca por hectare, considerando três classes de índice de local (S)

S (m)	Vtcc	Vtsc
	ITC (meses)	ITC (meses)
32	44	46
26	50	52
20	56	54

Verificou-se no Quadro 8, que quanto maior a capacidade produtiva do local, menor a idade técnica de colheita. Resultados semelhantes foram obtidos por ROSAS (1994); CAMPOS et al. (1996); SOARES (1998); e DIAS et al. (2005).

Verificou-se, também, que à exceção da classe de índice de local baixa (S=20), houve um pequeno aumento das idades técnicas de colheita (ITCs) quando se considera a produção do volume sem casca por hectare (Vtsc).

Para a análise do comportamento da área basal por hectare ao longo do tempo, para as três classes de índice de local (S), foi necessário, além de projetar a área basal para idades maiores que 24 meses, utilizando a equação ajustada no modelo de CLUTTER (1963), projetar a área basal para idades inferiores à 24 meses (Figura 12-a). Isto foi neces-



(a) (b)

Figura 12- Curvas de produção em área basal (B), em m²/ha (a) e curvas de incremento médio (IMM) e corrente (ICM) mensais, em m²/ha (b), em diferentes classes de produtividade.

sário devido ao comportamento das curvas dos incrementos médios mensais (IMM) nos locais de maior produtividade (S=32 e S=26), que apresentaram pontos de máximo antes dos 24 meses (Figura 12-b).

De acordo com a Figura 12-b, o ponto de máximo incremento médio mensal (IMM) em área basal ocorreu em idades menores para os melhores locais. Para o melhor local (S=32), o ponto de máximo IMM ocorreu aos 19 meses; para S=26, aos 22 meses; e para S=20, aos 26 meses.

4.3.2. Altura dominante (Hd) e altura total (Ht)

As medidas de precisão apresentadas no Quadro 9 e os gráficos apresentados nas Figuras 13 e 14 indicam que as equações ajustaram-se bem as dados observados de altura dominante (Hd) e altura total (Ht).

Quadro 9 – Equações ajustadas para altura dominante (Hd) e altura total (Ht), considerando três classes de índice de local e suas respectivas medidas de precisão

	Equações	$(r_{\hat{y}y})^2$	$S_{y,x}$	CV%
Baixa (S=20)	$Hd_2 = Hd_1 \exp(-3,100634(I_2^{-0,376416} - I_1^{-0,376416}))$	73,61%	1,1125 (m)	5,34
	$Ht_2 = Ht_1 \exp(-5,536091(I_2^{-0,115749} - I_1^{-0,115749}))$	96,71%	0,3802 (m)	2,17
Média (S=26)	$Hd_2 = Hd_1 \exp(-4,733260(I_2^{-0,437713} - I_1^{-0,437713}))$	87,25%	1,1649 (m)	4,59
	$Ht_2 = Ht_1 \exp(-4,745588(I_2^{-0,247332} - I_1^{-0,247332}))$	98,63%	0,3460 (m)	1,66
Alta (S=32)	$Hd_2 = Hd_1 \exp(-6,506210(I_2^{-0,625710} - I_1^{-0,625710}))$	86,33%	1,2279 (m)	4,18
	$Ht_2 = Ht_1 \exp(-4,932926(I_2^{-0,410185} - I_1^{-0,410185}))$	98,43%	0,3352 (m)	1,44

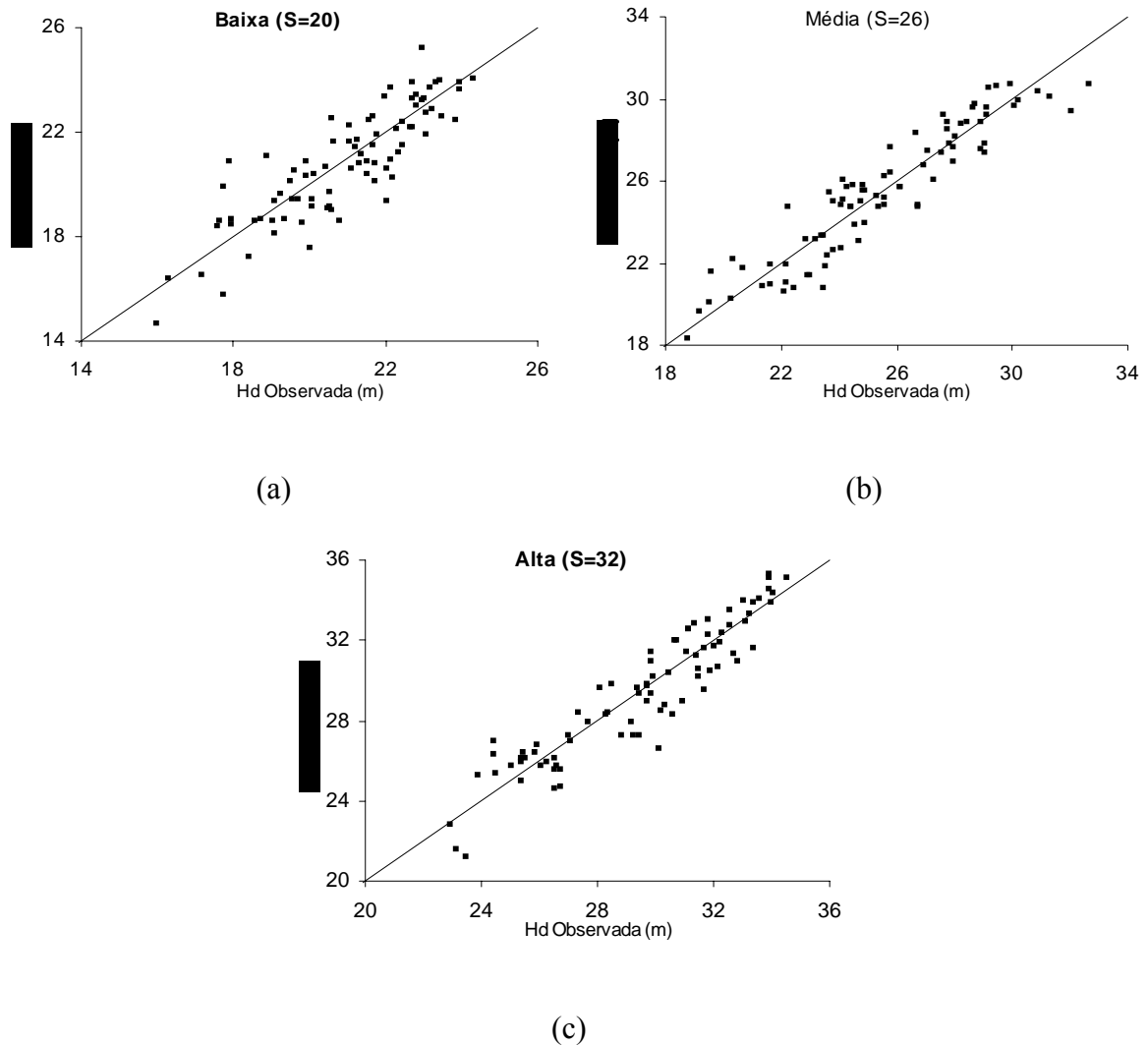


Figura 13- Relação entre alturas dominantes observadas e estimadas considerando três classes de índice de local: (S=20) (a); (S=26) (b); e (S=32) (c).

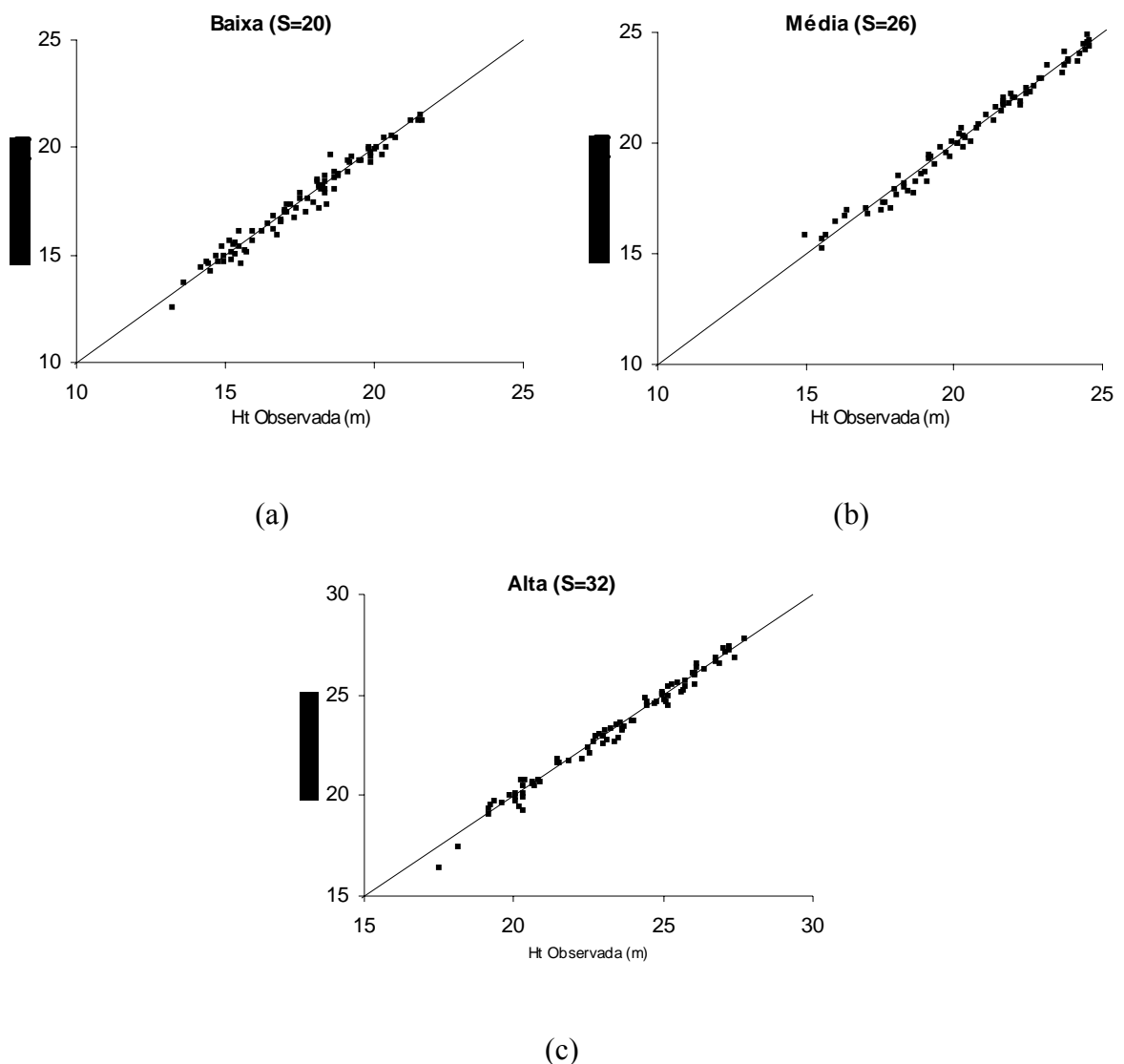
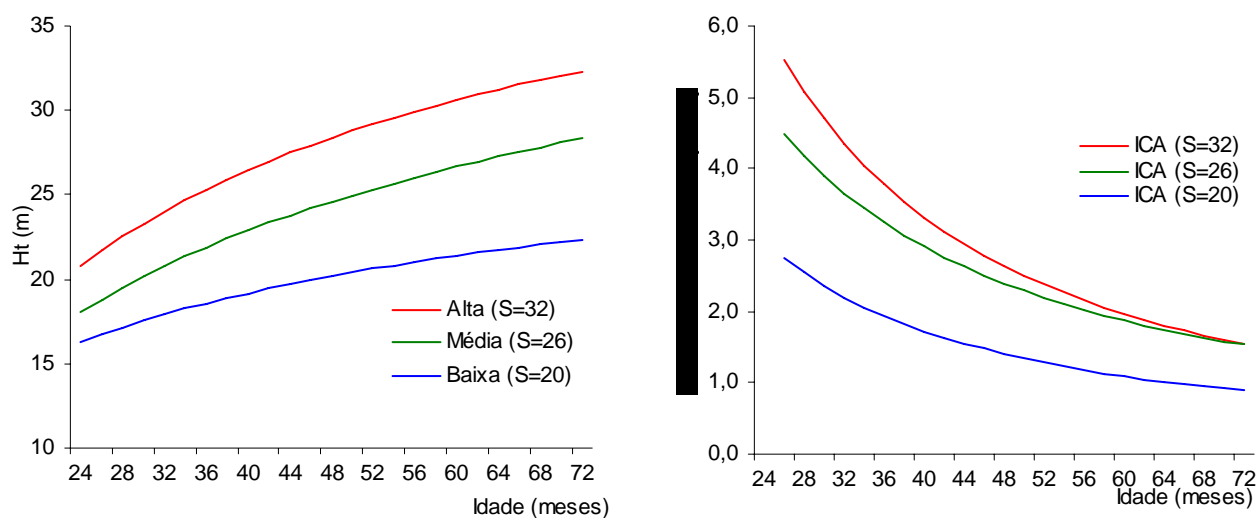
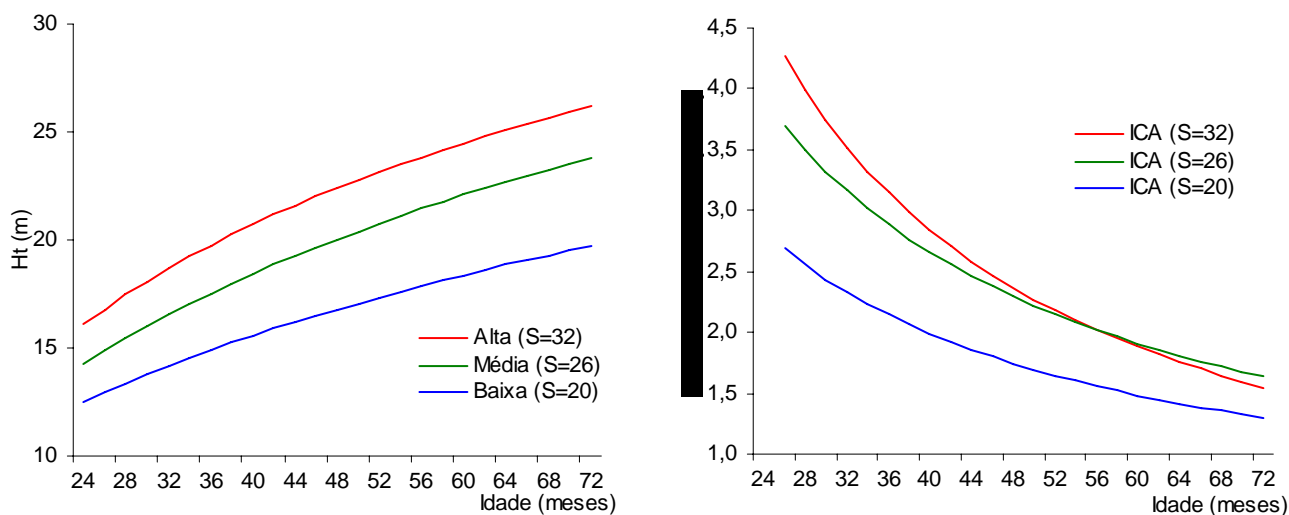


Figura 14 - Relação entre alturas totais observadas e estimadas considerando três classes de índice de local: (S=20) (a); (S=26) (b); e (S=32) (c).

Analisando as curvas de crescimento em altura (Figuras 15-a e 16-a), verificou-se, como descrito por ASSMANN (1970), uma relação direta entre a altura das árvores e a capacidade produtiva do local. Com relação às curvas dos incrementos correntes mensais (Figuras 15-b e 16-b), observou-se incrementos decrescentes a partir dos 24 meses de idade, tanto para a altura média das árvores dominantes quanto para a altura total média do povoamento. Cabe destacar, no entanto, que para o índice de local (S) igual a 32 houve um decréscimo maior, de tal forma que as curvas dos incrementos correntes dos locais com índices iguais a 32 e 26 se igualam ou se cruzam. Isto se deveu, possivelmente, à estagnação do crescimento, que ocorreu primeiro em locais de maior produtividade.



(a) (b)
 Figura 15 - Curvas de altura dominante (Hd), (a) e curvas de incrementos correntes mensais (ICM) (b), considerando diferentes classes de índice de local.



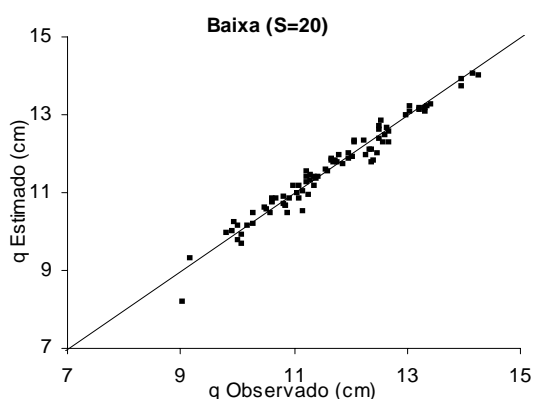
(a) (b)
 Figura 16 - Curvas de altura total (Ht) (a) e curvas de incrementos correntes mensais (ICM) mensal (b), considerando diferentes classes de índice de local.

4.3.3. Diâmetro médio ou quadrático (q) e número de árvores por hectare (N)

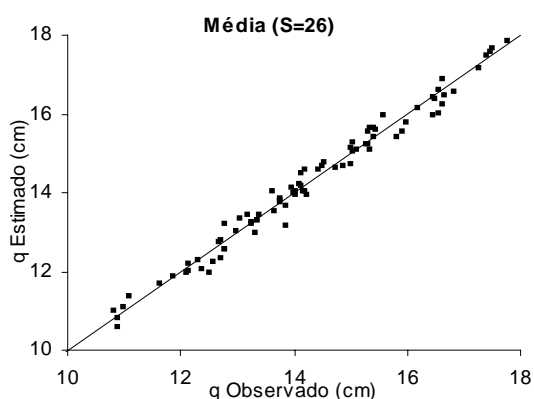
Analisando as medidas de precisão apresentadas no Quadro 10 e os gráficos das Figuras 17 e 18, verificou-se que as equações ajustaram-se bem aos dados observados.

Quadro 10 – Equações ajustadas para o diâmetro médio ou quadrático (q) e número de árvores por hectare (N), considerando as três classes de índice de local (S) e suas respectivas medidas de precisão

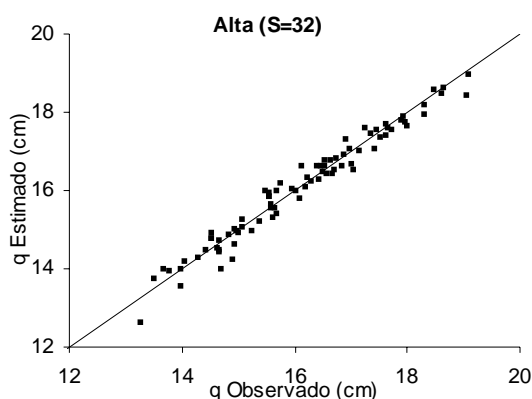
	Equações	$(r_{y\hat{y}})^2$	$S_{y.x}$	CV%
Baixa	$q_2 = q_1 \exp(-130,8112(I_2^{-0,002306} - I_1^{-0,002306}))$	96,21%	0,2291 (cm)	1,97
(S=20)	$N_2 = N_1 \exp(-0,000151(I_2^{1,426782} - I_1^{1,426782}))$	94,95%	26,5 (árvo/ha)	2,68
Média	$q_2 = q_1 \exp(-403,7016(I_2^{-0,000853} - I_1^{-0,000853}))$	98,23%	0,2354 (cm)	1,65
(S=26)	$N_2 = N_1 \exp(-0,000130(I_2^{1,507597} - I_1^{1,507597}))$	92,73%	27,2 (árvo/ha)	2,69
Alta	$q_2 = q_1 \exp(-247,9137(I_2^{-0,001262} - I_1^{-0,001262}))$	96,47%	0,2805 (cm)	1,75
(S=32)	$N_2 = N_1 \exp(-0,000265(I_2^{1,507136} - I_1^{1,507136}))$	89,29%	30,9 (árvo/ha)	3,07



(a)



(b)



(c)

Figura 17- Relação entre valores observados e estimados para diâmetro médio (cm), nas classes de produtividade baixa (S=20) (a), média (S=26) (b) e alta (S=32) (c).

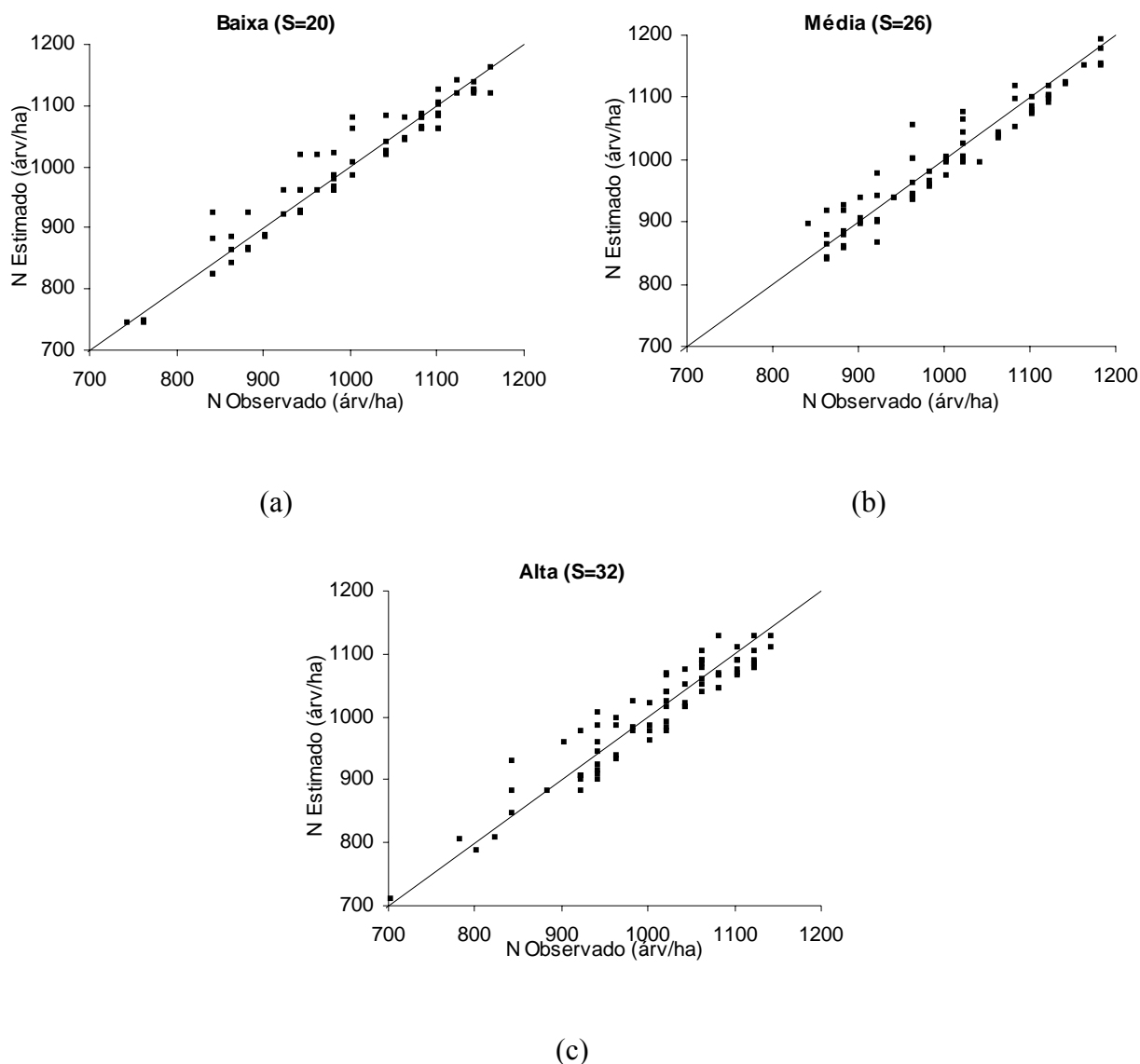
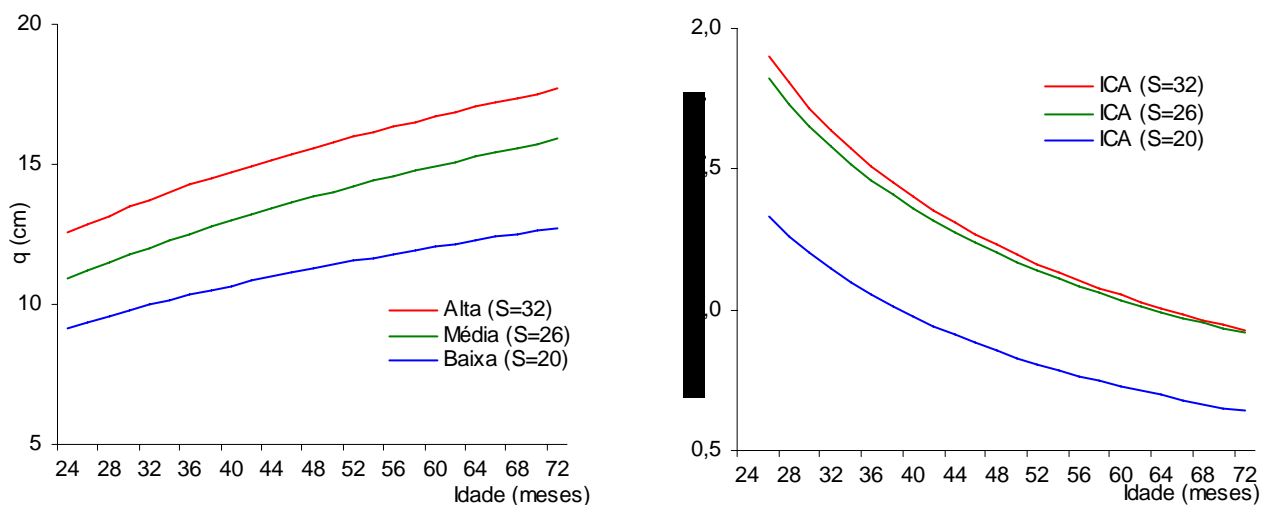


Figura 18- Relação entre valores observados e estimados para o número de árvores (árvores/ha), nas classes de produtividade baixa (S=20) (a), média (S=26) (b) e alta (S=32) (c).

Na Figura 19-a, observou-se que as curvas de crescimento em diâmetro, para os locais com índices (S) iguais a 32 e 26, apresentaram-se praticamente paralelas, ou seja, apresentam mesma tendência de crescimento. Quanto ao local com índice (S) igual a 20 (local ruim), verificou-se, taxas menores de crescimento. Ainda na Figura 19-a, verificou-se que as curvas de crescimento em diâmetro não atingiram um valor assintótico. A princípio, poder-se-ia concluir que não houve estagnação do crescimento em diâmetro. Contudo, se árvores menores morreram devido à estagnação do crescimento nas menores

classes diamétricas, o valor do diâmetro médio ou quadrático (q) tenderia sempre a aumentar.



(a)

(b)

Figura 19 - Curvas de crescimento do diâmetro médio ou quadrático (q) (a) e curvas dos incrementos correntes (ICA) mensais (b), considerando diferentes classes de índice de local (S).

Analisando a Figura 20, observou-se que em idades iniciais o número de árvores por hectare é maior no local de maior capacidade produtiva (S=32). Contudo, esse comportamento se inverteu com o passar do tempo, devido à competição entre plantas que iniciou mais cedo nestes locais, favorecendo a mortalidade das menores árvores.

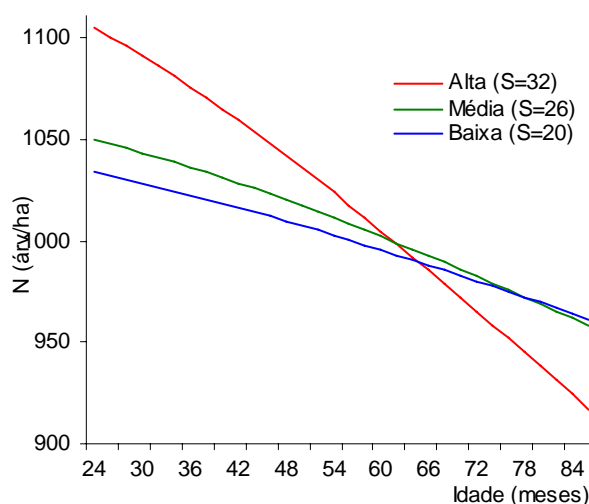


Figura 20 - Número de árvores sobreviventes por hectare ao longo do tempo, considerando três classes de índice de local (S).

De acordo com MACHADO (1979), o comportamento inicial apresentado na Figura 20 se deve as condições estruturais do solo, uma vez que se tem uma única espécie, a mesma densidade inicial de plantio e correções químicas recomendadas com base na análise do solo.

4.4. Componentes do crescimento

4.4.1. Caracterização da distribuição diamétrica

A distribuição do número de árvores por hectare em classes diamétricas com amplitude de 2 cm, para cada idade de medição, nas três classes de capacidade produtiva consideradas (Figura 21), demonstram a tendência característica da distribuição dos diâmetros em povoamentos equiâneos. Verificou-se, na Figura 21, o deslocamento nas curvas de distribuição dos diâmetros para a direita com o passar do tempo. Isto significa que árvores estão atingindo tamanhos maiores com o passar do tempo, contudo este deslocamento é cada vez menor em virtude da estagnação do crescimento do povoamento. Comportamento semelhante foi observado por NOGUEIRA et al. (2001) e LEITE et al. (2005), ambos em plantios de eucalipto.

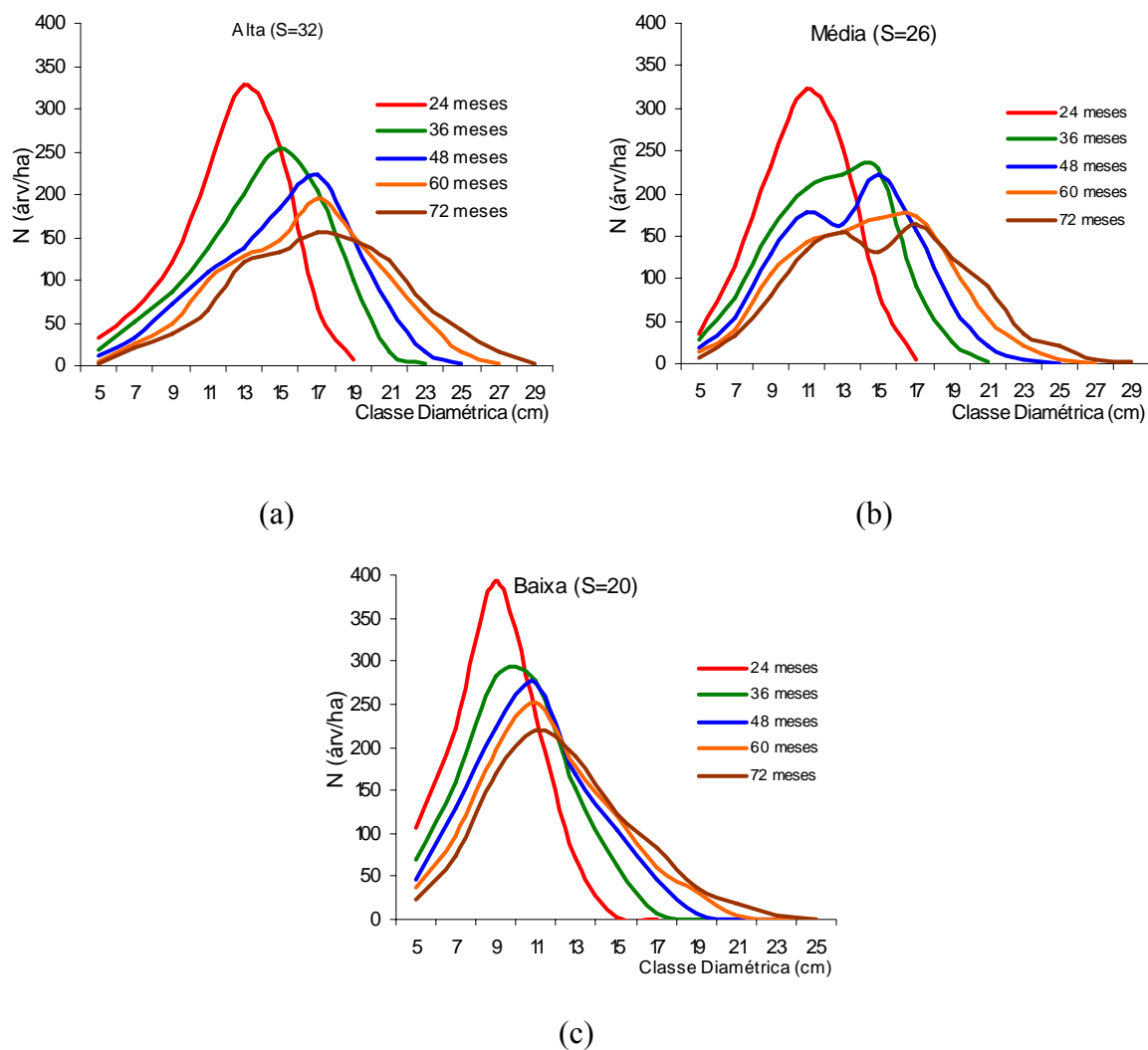
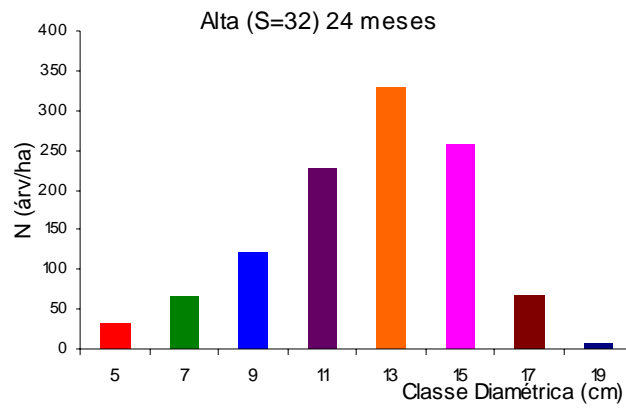


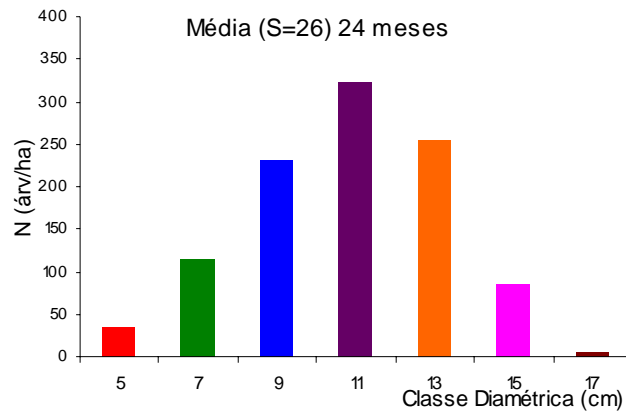
Figura 21 – Distribuição dos diâmetros ao longo dos anos, considerando três condições de capacidade produtiva: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).

4.4.2. Crescimento diamétrico (*Upgrowth*) e Ingresso (*I*)

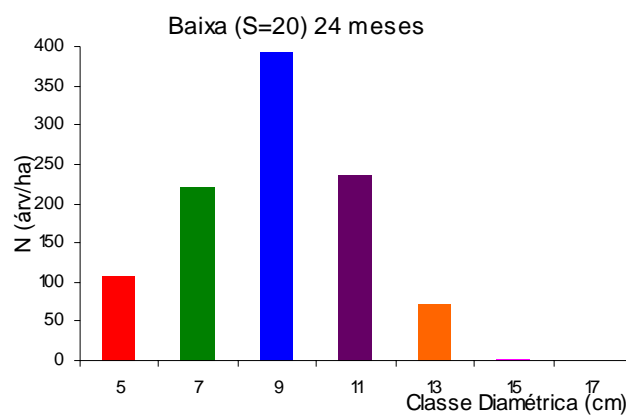
Através da elaboração de gráficos de barras coloridos, aos 24 meses (Figura 22), foi possível mostrar, para os anos seguintes, a dinâmica da mudança das árvores pelas classes de diâmetro, em diferentes capacidades produtivas. Assim, as cores das barras, aos 24 meses, puderam ser visualizadas ao longo do tempo, indicando quais árvores mudaram e quais classes sofreram as mudanças.



(a)



(b)



(c)

Figura 22 – Distribuição dos diâmetros aos 24 meses, para as classes de produtividade, Alta (a), Média (b) e Baixa (c).

De acordo com os gráficos da Figura 23, onde estão representadas as distribuições das árvores em classes diamétricas, aos 36 meses, para as três classes de produtividade, pôde-se observar que no melhor local (S=32), o número de árvores que migraram nas

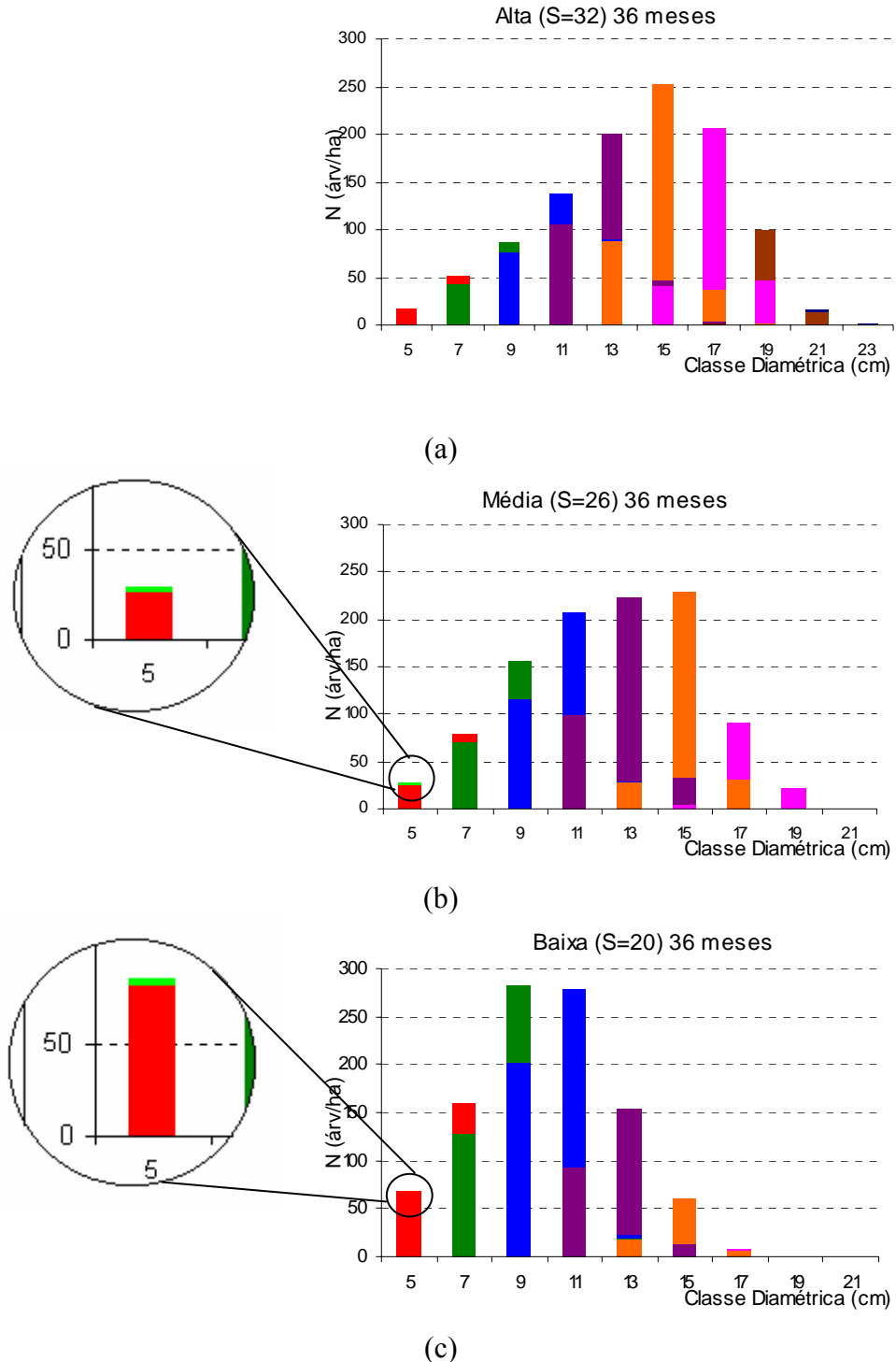


Figura 23 – Distribuição dos diâmetros aos 36 meses, para as classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).

menores classes é menor do que no pior local ($S=20$). Isto indica que o processo de estagnação do crescimento das menores árvores ocorre mais cedo no melhor local.

Verificou-se, ainda, que, nas menores classes de diâmetro, para as três condições de sítio, houve a migração de árvores somente para uma classe imediatamente superior, enquanto que nas demais classes algumas árvores conseguiram migrar duas ou até três classes.

Nas classes de produtividade Média e Baixa (Figura 23-b e 23-c), foi observado o ingresso de árvores na menor classe de diâmetro (para essas árvores atribuiu-se a cor verde claro).

Analisando as distribuições diamétricas, aos 48 meses (Figura 24), verificou-se que não houve ocorrência de ingressos em nenhuma classe de produtividade nesta idade. Na condição média ($S=20$) (Figura 24-b), algumas árvores que ingressaram aos 36 meses (verde claro) cresceram e migraram de classe.

Verificou-se, ainda, na Figura 24-a, que somente no local com melhor capacidade produtiva ($S=32$) as árvores das duas primeiras classes, mesmo com 48 meses, ainda não cresceram o suficiente para atingirem mais que uma classe superior, indicando que as árvores desta classe estão com baixo vigor de crescimento.

Analisando as distribuições diamétricas nas três classes de produtividade, aos 60 meses (Figura 25), com exceção da classe de produtividade Média (Figura 25-b), pode-se observar a presença de árvores ingressando na menor classe (azul claro). O fato de ter se verificado ingresso de árvores aos 60 meses, no sítio mais produtivo (Figura 25-a), pode ser atribuído à mortalidade de árvores aos 48 meses, conforme será verificado na Figura 28-a, do item 4.4.3.

Ainda na Figura 25, nota-se que, enquanto a classe de produtividade Média (Figura 25-b), algumas árvores que ingressaram aos 36 meses (verde claro) na menor classe diamétrica ainda permanecem nela, na classe de produtividade Baixa (Figura 25-c), todas as árvores que ingressaram aos 36 meses, cresceram e migraram de classe, indicando que embora tenham uma taxa de crescimento em diâmetro menor na menor classe de produtividade, ela é constante.

Aos 60 meses (Figura 25), para as três classes de produtividade, pôde-se observar que as árvores representadas pela cor vermelho (árvores que estavam na classe 5 aos 24 meses), não atingiram nenhuma classe maior que aquelas já atingidas aos 48 meses. Este

fato deve-se ao processo de estagnação do crescimento dessas árvores. Já no local de melhor capacidade produtiva (Figura 25-a), algumas árvores representadas pela cor verde (classe 7 aos 24 meses), cresceram o suficiente para atingirem a classe 11.

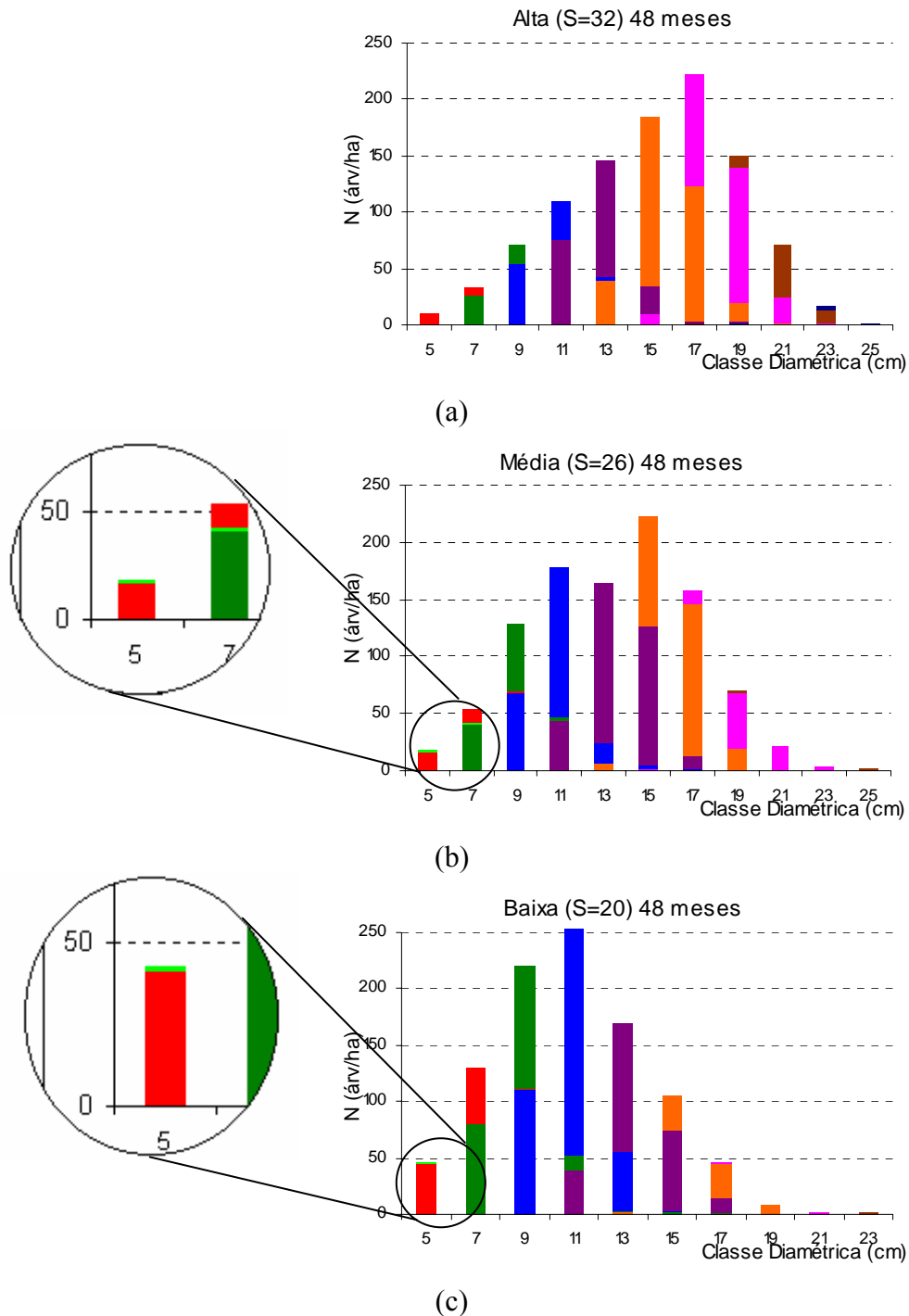


Figura 24 – Distribuição dos diâmetros aos 48 meses, para as classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).

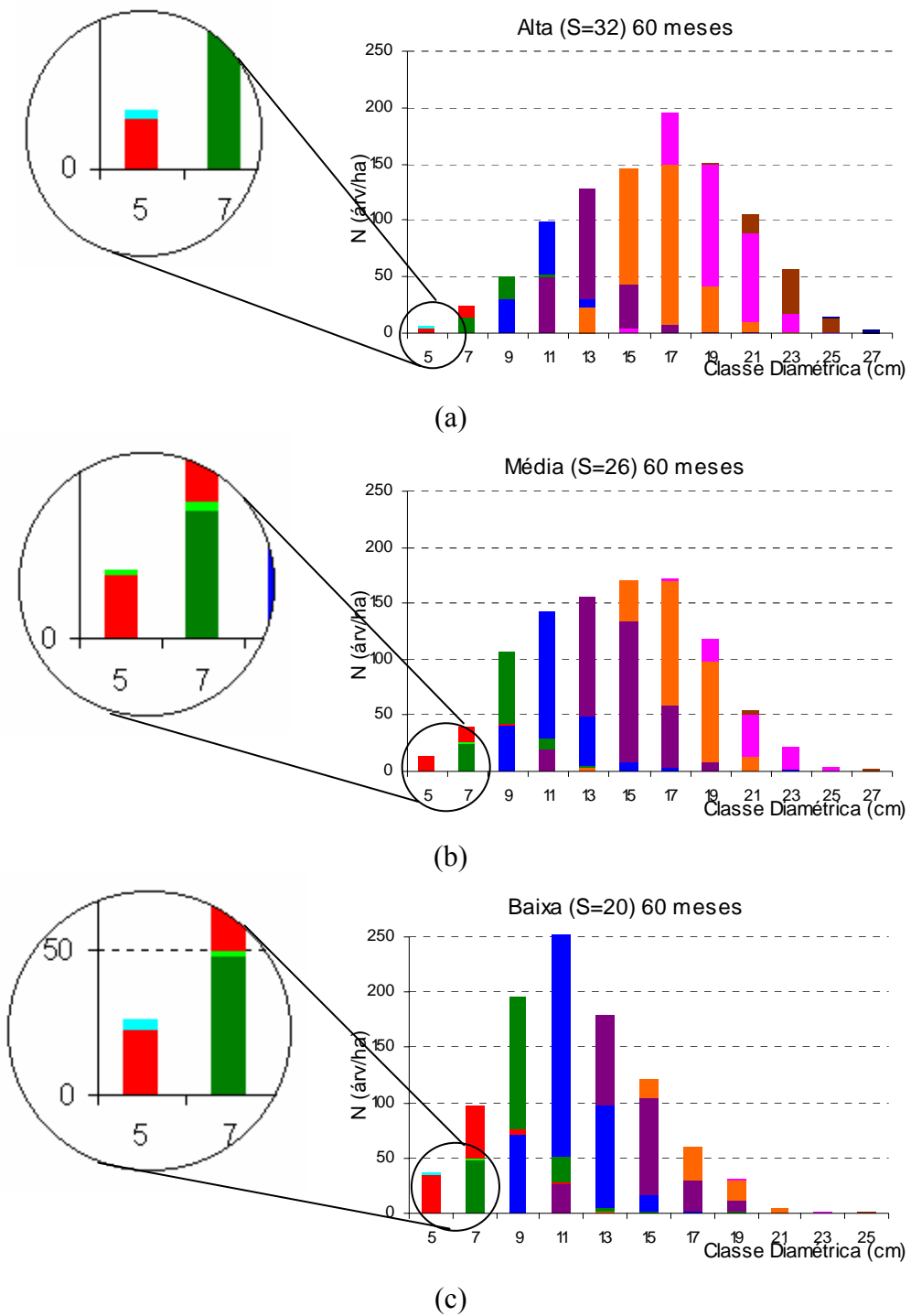


Figura 25 – Distribuição dos diâmetros aos 60 meses, para as classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).

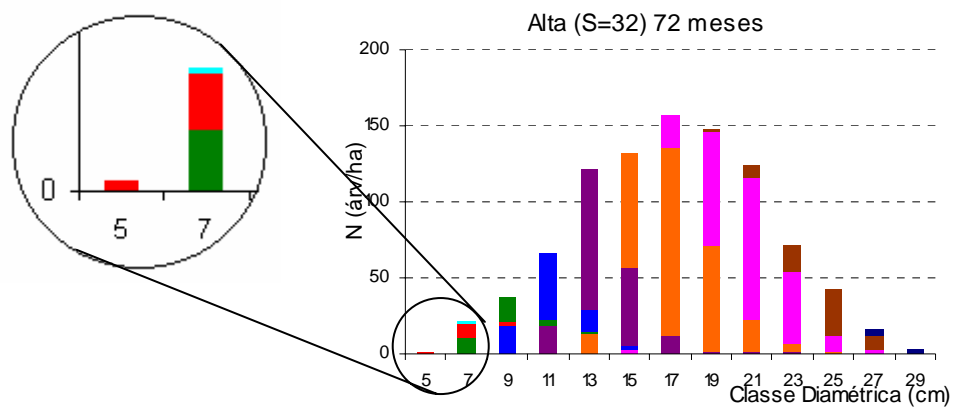
Analisando a distribuição diamétrica aos 72 meses (Figura 26), verificou-se que não houve nenhuma árvore nova ingressando nas classes de produtividade consideradas. Na classe de produtividade Média (Figura 26-b) todas árvores que ingressaram aos 36 meses na menor classe diamétrica cresceram e migraram para uma classe imediatamente superior. Nenhuma árvore que ingressou aos 60 meses na classe de pior capacidade produtiva mudou de classe aos 72 meses (Figura 26-c). Contudo, para o ingresso observado na classe de produtividade Bom, aos 60 meses (azul claro) (Figura 26-a) observou-se uma migração dessas árvores para a classe 7.

Aos 72 meses (Figura 26), foi verificado, também, nas três classes de produtividade, um crescimento surpreendente das menores árvores e conseqüentemente uma eventual migração para classes diamétricas superiores. Esta constatação pode estar associada à mortalidade de parte das árvores menores ocorrida aos 48 e 60 meses, conforme Figuras 28 e 29, respectivamente, do item 4.4.3. Isto pode indicar a necessidade de intervenção nos plantios para favorecer o crescimento das árvores remanescentes, a fim de reduzir perdas por mortalidade.

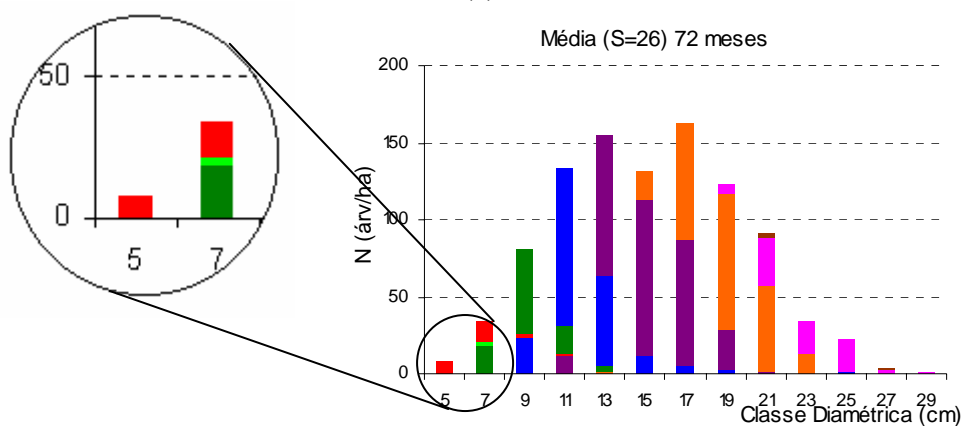
De uma maneira geral, observou-se, para todas as idades, que, independente da classe de produtividade, quanto maior a classes diamétrica, maior é a taxa de crescimento, de tal forma que as maiores árvores, em uma idade inicial, atingiram classes de tamanho superiores em idades futuras (SOUZA et al., 1993).

Com relação à capacidade produtiva, constatou-se haver uma tendência inversa com momento de estagnação do crescimento, principalmente das menores árvores, ou seja, quanto melhor o local mais cedo se verifica esta estagnação do crescimento.

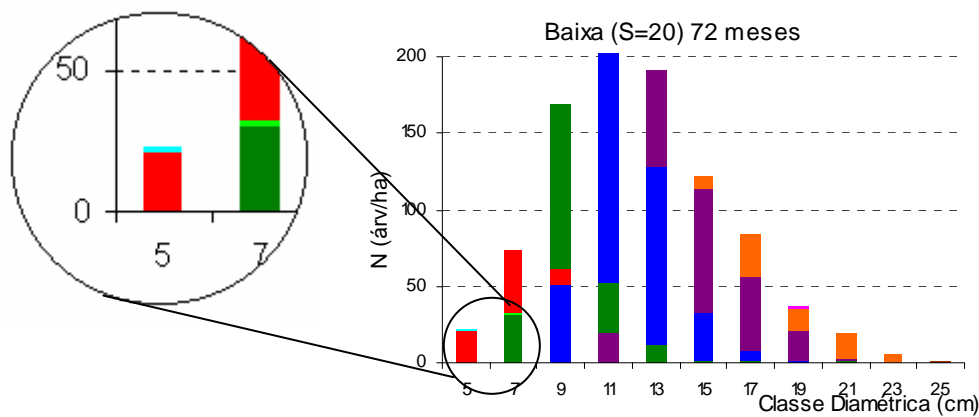
Pôde-se constatar, também, o ingresso de árvores na menor classe diamétrica independentemente da capacidade produtiva do local e da idade do povoamento. Contudo, o número de árvores que ingressaram é muito pequeno. Esse pequeno número de árvores que ingressaram se deve idade inicial de medição (24 meses) e ao nível de inclusão (15 cm de circunferência à 1,30m do solo).



(a)



(b)



(c)

Figura 26 – Distribuição dos diâmetros aos 72 meses, para as classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).

4.4.3. Mortalidade

Assim como para o crescimento em diâmetro (*upgrowth*), as cores atribuídas nos gráficos referentes ao número de árvores mortas por classe de diâmetro, aos 24 meses serviram para a identificação da classe de origem das árvores mortas.

De acordo com a distribuição do número de árvores mortas em classes diamétricas, aos 36 meses, (Figura 27), observou-se, para as três classes de produtividade, mortalidade ocorrendo principalmente nas três menores classes de diâmetro. Observou-se, também, uma relação direta entre a qualidade do local e o número absoluto de árvores mortas, ou seja, quanto melhor a capacidade produtiva maior a mortalidade na idade de 36 meses.

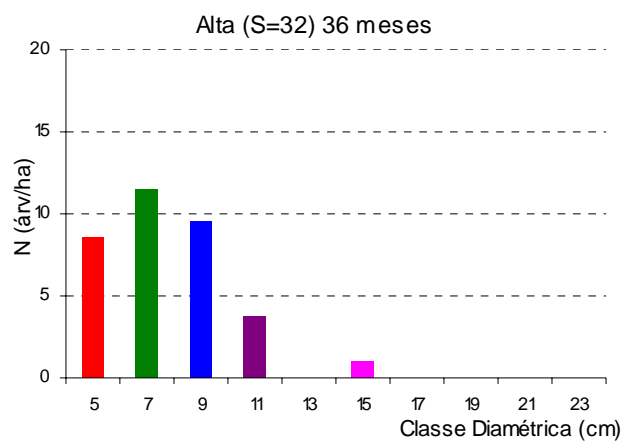
Aos 48 meses (Figura 28), a distribuição da mortalidade em classes de diâmetro, seguiu o mesmo comportamento observado aos 36 meses, isto é, maior mortalidade de árvores na maior classe produtiva. Verificou-se, ainda, que, com exceção da classe de produtividade Baixa (Figura 28-c), houve um aumento do número de árvores mortas quando comparada àquelas aos 36 meses nas classes de produtividade Alta e Média.

Aos 60 meses (Figura 29), verificou-se um número menor de árvores mortas na classe de maior produtividade (Figura 29-a) e um aumento da mortalidade no local com baixa produtividade (Figura 29-c), em relação aos 48 meses (Figura 28).

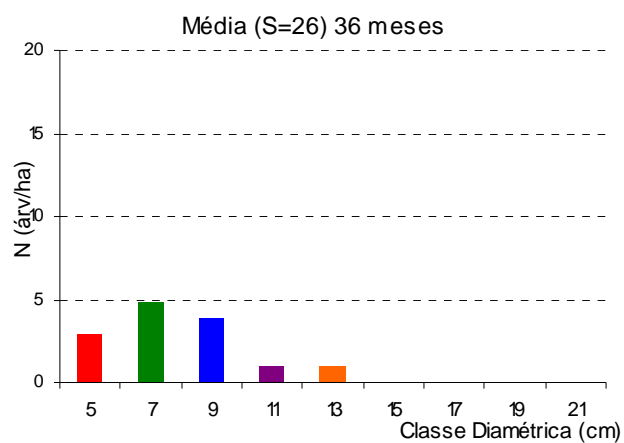
Pode-se observar, aos 72 meses (Figura 30), um aumento no número de árvores mortas na classe de produtividade Baixa (Figura 30-c). Entretanto, não se pode destacar o decréscimo da mortalidade na melhor classe (Figura 30-a), uma vez que, apesar de diminuir o número de árvores mortas nas menores classes diamétricas houve um aumento nas maiores classes, indicando que a competição atingiu, também, classes de diâmetro maiores.

No geral, pode-se destacar que:

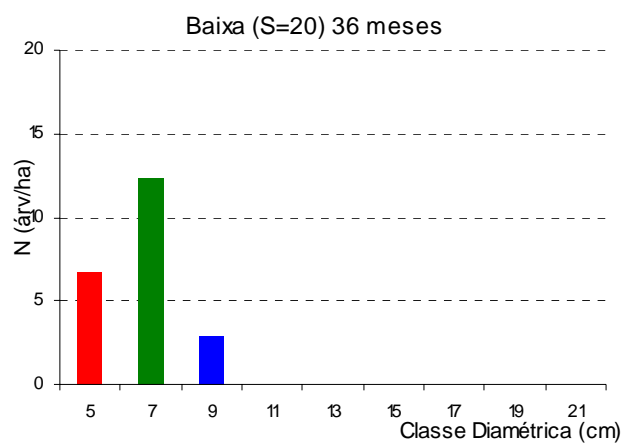
a) quanto maior a capacidade produtiva, maior é o número de árvores mortas. Esta tendência de ocorrer maior mortalidade nos sítios mais produtivos foi também observada nos estudos de MACHADO (1979) para plantios homogêneos *Pinus taeda*; de BAILEY et al. (1985), para plantios de *Pinus elliottii* não-desbastados; de SCOLFORO (1990), para plantios de *Pinus caribea* var. *hondurensis* antes do primeiro desbaste; e de MAESTRI et al. (1995), em povoamentos de *Acacia mearnsii*.



(a)

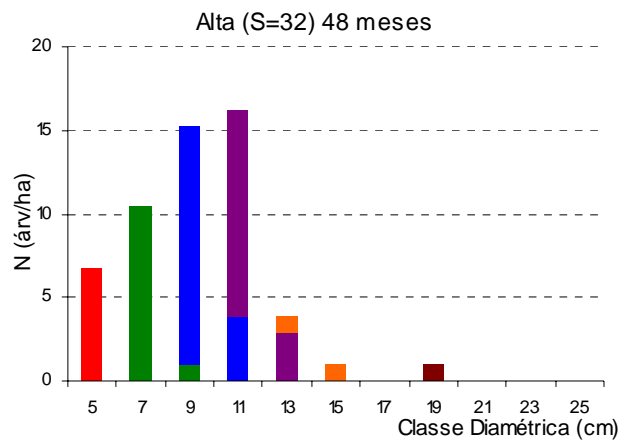


(b)

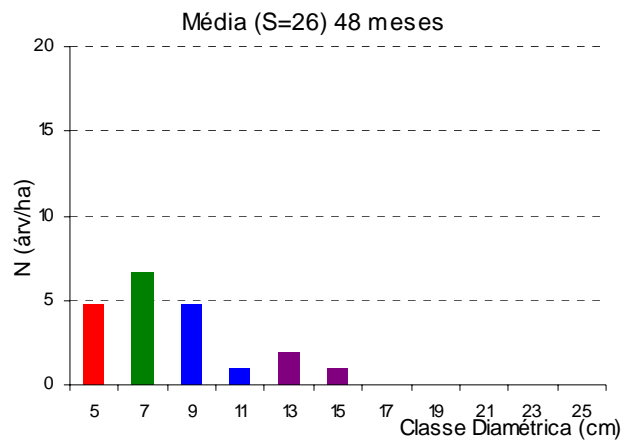


(c)

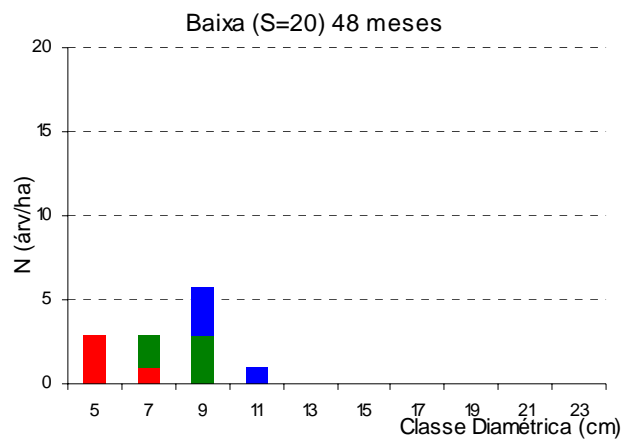
Figura 27 – Distribuição da mortalidade em classes diamétricas aos 36 meses, considerando três classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).



(a)

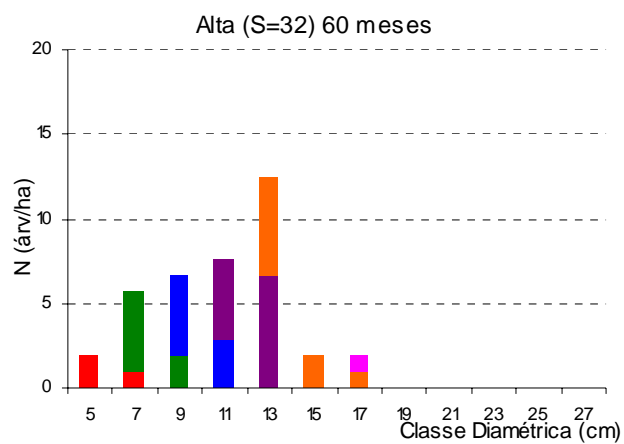


(b)

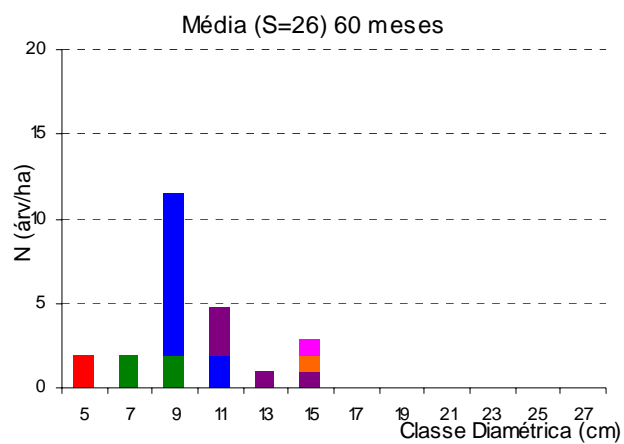


(c)

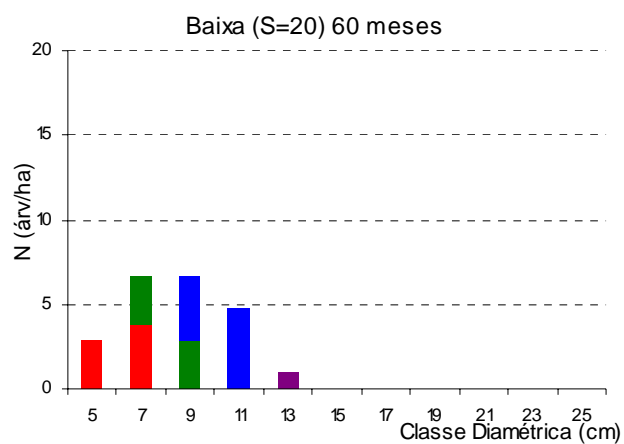
Figura 28 – Distribuição da mortalidade em classes diamétricas aos 48 meses, para considerando três classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).



(a)

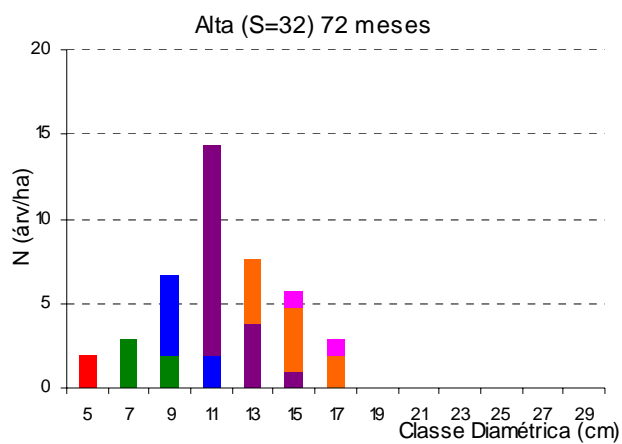


(b)

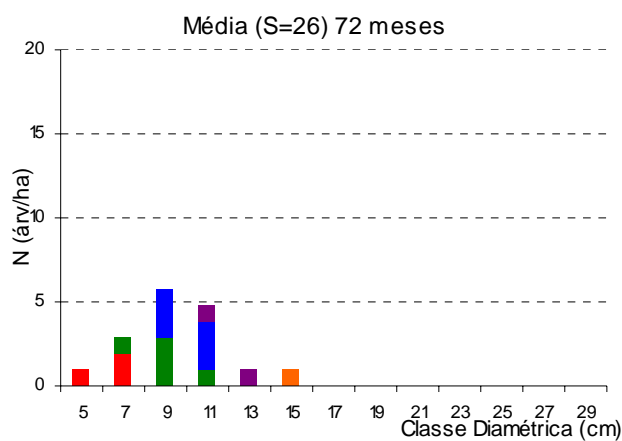


(c)

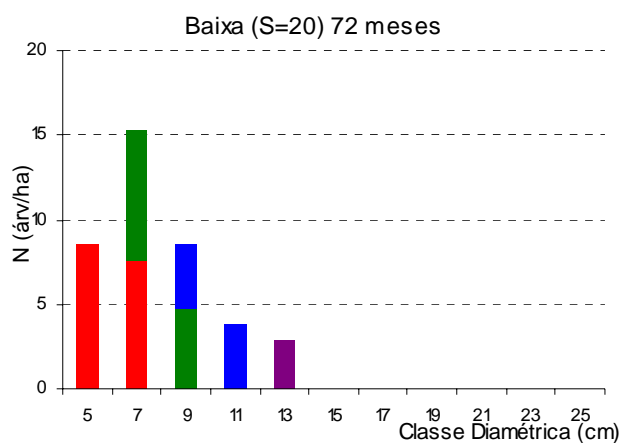
Figura 29 - Distribuição da mortalidade em classes diamétricas aos 60 meses, considerando três classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 21 - Distribuição da mortalidade em classes diamétricas aos 72 meses, considerando três classes de produtividade: Alta (a), Média (b) e Baixa (c).

b) as árvores mortas, em sua maioria, não foram aquelas que mudaram de classes de diâmetro e sim árvores com baixa taxa de crescimento e em processo de estagnação, ou seja, menos vigorosas. Esta constatação é a mesma de BUCHMAN (1983) que destacou ainda que a probabilidade de mortalidade para árvores vigorosas é baixa, mas não zero e que nem todas as árvores de baixo vigor morrem regularmente. Contudo, ele afirma que a taxa de mortalidade decresce rapidamente com o aumento do vigor da árvore.

c) apesar da mortalidade ser maior nas menores classes de diâmetro, observou-se uma tendência dessa mortalidade ser normalmente distribuída entre estas classes diamétricas. Essa constatação também foi observada por LEE (1971) na predição da mortalidade em um povoamento equiâneo de pinus.

4.4.4. Matrizes de probabilidade de transição

Como complemento da análise da dinâmica interna dos povoamentos de eucalipto, foram elaboradas matrizes de probabilidade de transição, nas quais pôde-se observar, entre outras coisas, o vigor de crescimento das árvores nas classes de diâmetro.

Nas matrizes de transição a diagonal principal representa a probabilidade das árvores permanecerem na mesma classe de diâmetro, e os demais elementos, exceto a última linha, a probabilidade das árvores migrarem de classe. A última linha representa a probabilidade das árvores morrerem, num dado intervalo de tempo.

Para o período compreendido entre 24 para 36 meses (Quadro 11), verificou-se, para as três condições de produtividade, uma probabilidade maior das árvores permanecerem nas classes somente nas três primeiras classes diamétricas – asterisco (*). Verificou-se, também, que algumas árvores migraram até três classes diâmetro superiores.

Neste período (24 para 36 meses), a probabilidade das árvores morrerem foi maior quanto menor a classe. Pode-se destacar, para a classe de maior produtividade (S=32), uma probabilidade de morte maior que a probabilidade de migração, nas duas primeiras classes de diâmetro. Isto indica uma relação direta entre a mortalidade e o baixo vigor de crescimento, uma vez que as menores árvores são menos vigorosas.

Quadro 11 – Matrizes de probabilidade de transição para o período de 24 a 36 meses, para as classes de produtividade: Alta (S=32), Média (S=26) e Baixa (S=20).

Alta (S=32)	
CLASSE DIAMÉTRICA	
	5 7 9 11 13 15 17 19
5	0,543*
7	0,200 0,667*
9	0 0,159 0,629*
11	0 0 0,268 0,462
13	0 0 0,016 0,483 0,267
15	0 0 0 0,029 0,632 0,160
17	0 0 0 0,008 0,099 0,658 0,043
19	0 0 0 0 0,003 0,175 0,771 0,143
21	0 0 0 0 0 0,004 0,186 0,429
23	0 0 0 0 0 0 0 0,429
M	0,257 0,174 0,087 0,017 0 0,004 0 0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Média (S=26)	
CLASSE DIAMÉTRICA	
	5 7 9 11 13 15 17
5	0,711*
7	0,211 0,612*
9	0 0,347 0,502*
11	0 0 0,465 0,307
13	0 0 0,016 0,596 0,105
15	0 0 0 0,094 0,768 0,045
17	0 0 0 0 0,124 0,697 0,000
19	0 0 0 0 0 0,247 0,800
21	0 0 0 0 0 0,011 0,200
M	0,079 0,041 0,016 0,003 0,004 0 0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Baixa (S=20)	
CLASSE DIAMÉTRICA	
	5 7 9 11 13 15 17
5	0,634*
7	0,295 0,579*
9	0,009 0,357 0,510*
11	0 0 0,475 0,394
13	0 0,004 0,010 0,553 0,253
15	0 0,004 0 0,053 0,667 0,000
17	0 0 0 0 0,080 1,000 0,000
21	0 0 0 0 0 0 1,000
M	0,063 0,055 0,005 0 0 0 0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Para o período de 36 a 48 meses (Quadro 12), verificou-se que, com o aumento da idade dos povoamentos, aumenta também o número de classes diamétricas onde a probabilidade de permanência foi maior que a de mudança - asterisco (*), independentemente da classe de produtividade. Neste período, observou-se, no melhor

local (S=32), uma probabilidade das árvores morrerem, maior que a probabilidade de migração, para as três primeiras classes de diâmetro.

Quadro 12 – Matrizes de probabilidade de transição para o período de 36 a 48 meses, para as classes de produtiva produtividade: Alta (S=32), Média (S=26) e Baixa (S=20).

		Alta (S=32)									
		CLASSE DIAMÉTRICA									
		5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
5		0,579*									
7		0,053	0,642*								
9		0	0,151	0,736*							
11		0	0	0,088	0,743*						
13		0	0	0	0,139	0,636*					
15		0	0	0	0	0,344	0,451				
17		0	0	0	0	0	0,545	0,412			
19		0	0	0	0	0	0	0,569	0,330		
21		0	0	0	0	0	0	0,019	0,621	0,294	
23		0	0	0	0	0	0	0	0,039	0,706	0,333
25		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,667
M		0,368	0,208	0,176	0,118	0,019	0,004	0	0,010	0	0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

		Média (S=26)									
		CLASSE DIAMÉTRICA									
		5	7	9	11	13	15	17	19	21	
5		0,633*									
7		0,200	0,610*								
9		0	0,305	0,671*							
11		0	0	0,299	0,635*						
13		0	0	0	0,341	0,423					
15		0	0	0	0,005	0,573	0,411				
17		0	0	0	0,005	0	0,577	0,263			
19		0	0	0	0	0	0,012	0,695	0,154		
21		0	0	0	0	0	0	0,042	0,731	0,000	
23		0	0	0	0	0	0	0	0,115	0,500	
25		0	0	0	0	0	0	0	0	0,500	
M		0,167	0,085	0,030	0,014	0,004	0	0	0	0	

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

		Baixa (S=20)									
		CLASSE DIAMÉTRICA									
		5	7	9	11	13	15	17	19		
5		0,667*									
7		0,292	0,680*								
9		0	0,302	0,613*							
11		0	0	0,360	0,627*						
13		0	0	0,003	0,367	0,425					
15		0	0	0,003	0,003	0,556	0,297				
17		0	0	0	0	0,019	0,656	0,250			
19		0	0	0	0	0	0,047	0,625	0,000		
21		0	0	0	0	0	0	0,125	0,000		
23		0	0	0	0	0	0	0	1,000		
M		0,042	0,018	0,020	0,003	0	0	0	0	0	

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

De 48 para 60 meses (Quadro 13), verificou-se o aumento do número de classes diamétricas onde a probabilidade das árvores permanecerem é maior do que a de

migrarem. Quanto maior a capacidade produtiva, maior é a classe onde ocorre esta estagnação do crescimento. Neste período, em nenhuma das três classes de produtividade, foi observado uma probabilidade das árvores morrerem maior que a de migração.

Quadro 13 – Matrizes de probabilidade de transição para o período de 48 a 60 meses, para as classes de produtiva produtividade: Alta (S=32), Média (S=26) e Baixa (S=20).

Alta (S=32)											
CLASSE DIAMÉTRICA											
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
5	0,455*										
7	0,364	0,629*									
9	0	0,200	0,600*								
11	0	0	0,307	0,704*							
13	0	0	0	0,226	0,706*						
15	0	0	0	0	0,209	0,627*					
17	0	0	0	0	0	0,363	0,574*				
19	0	0	0	0	0	0	0,417	0,389			
21	0	0	0	0	0	0	0	0,605	0,219		
23	0	0	0	0	0	0	0	0,006	0,753	0,118	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,027	0,824	0,000
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,059	1,000
M	0,182	0,171	0,093	0,070	0,085	0,010	0,009	0	0	0	0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Média (S=26)											
CLASSE DIAMÉTRICA											
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
5	0,737*										
7	0,158	0,679*									
9	0	0,286	0,704*								
11	0	0	0,207	0,647*							
13	0	0	0	0,321	0,595*						
15	0	0	0	0	0,393	0,474					
17	0	0	0	0	0,006	0,509	0,370				
19	0	0	0	0	0	0,004	0,618	0,288			
21	0	0	0	0	0	0	0,012	0,685	0,174		
23	0	0	0	0,005	0	0	0	0,027	0,783	0,250	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,043	0,750	0,000
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000
M	0,105	0,036	0,089	0,027	0,006	0,013	0	0	0	0	0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Baixa (S=20)											
CLASSE DIAMÉTRICA											
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
5	0,750*										
7	0,188	0,691*									
9	0	0,257	0,738*								
11	0	0	0,232	0,725*							
13	0	0	0	0,258	0,638*						
15	0	0	0	0	0,350	0,591*					
17	0	0	0	0	0,006	0,400	0,383				
19	0	0	0	0	0	0,009	0,574	0,500			
21	0	0	0	0	0	0	0,043	0,500	0,000		
23	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000	0,000	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000	
M	0,063	0,051	0,030	0,017	0,006	0	0	0	0	0	0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Para o período dos 60 para 72 meses (Quadro 14), a probabilidade das árvores permanecerem na classe foi verificada em classes maiores que no período anterior – asterisco (*), nas três classes de produtividade. Neste período, verificou-se que nos locais de Alta e Baixa produtividade (S=32 e S=20), nas duas menores classes, a probabilidade das árvores migrarem de classe não é maior que a probabilidade das árvores morrerem.

No geral, para todas as condições de produtividade, observou-se:

a) com o aumento da idade, maior é o número de classes diamétricas onde a probabilidade de permanecer na classe é maior que a de migrar, sendo este número de classes maiores nos melhores locais;

b) houve uma tendência de quanto menor o diâmetro das árvores (árvores pertencentes a classe de diâmetro menor), menor o vigor de crescimento, ou seja, menor é a probabilidade de mudança (*upgrowth*). Por outro lado, verificou-se maior mortalidade nestas menores classes.

Resultados semelhantes aos apresentados neste estudo foram encontrados por BUCHMAN (1983) para espécies da região dos grandes lagos, nos Estados Unidos.

Quadro 14 – Matrizes de probabilidade de transição para o período de 60 a 72 meses, para as classes de produtiva produtividade: Alta (S=32), Média (S=26) e Baixa (S=20).

Alta (S=32)												
CLASSE DIAMÉTRICA												
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
5	0,333*											
7	0,333	0,769*										
9	0	0,115	0,692*									
11	0	0	0,173	0,577*								
13	0	0	0	0,279	0,724*							
15	0	0	0	0	0,216	0,706*						
17	0	0	0	0	0	0,255	0,615*					
19	0	0	0	0	0	0	0,366	0,509*				
21	0	0	0	0	0	0	0,005	0,491	0,459			
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,541	0,259		
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,690	0,188	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,052	0,813	0,000
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000
M	0,333	0,115	0,135	0,144	0,060	0,039	0,015	0	0	0	0	0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Média (S=26)												
CLASSE DIAMÉTRICA												
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
5	0,571*											
7	0,357	0,732*										
9	0	0,195	0,685*									
11	0	0	0,261	0,752*								
13	0	0	0	0,215	0,798*							
15	0	0	0	0	0,196	0,592*						
17	0	0	0	0	0	0,402	0,546*					
19	0	0	0	0	0	0	0,448	0,387				
21	0	0	0	0	0	0	0,006	0,597	0,357			
23	0	0	0	0	0	0	0	0,016	0,607	0,000		
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,036	0,955	0,000	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,045	0,750	0,000
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,250	1,000
M	0,071	0,073	0,054	0,034	0,006	0,006	0	0	0	0	0	0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

Baixa (S=20)											
CLASSE DIAMÉTRICA											
	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25
5	0,632*										
7	0,132	0,699*									
9	0	0,146	0,787*								
11	0	0	0,169	0,740*							
13	0	0	0	0,245	0,729*						
15	0	0	0	0	0,255	0,614*					
17	0	0	0	0	0	0,386	0,619*				
19	0	0	0	0	0	0	0,381	0,406			
21	0	0	0	0	0	0	0	0,594	0,167		
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0,833	1,000*	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,000*
M	0,237	0,155	0,043	0,015	0,016	0	0	0	0	0	0

* probabilidade de permanecer maior que de migrar de classe

5. CONCLUSÕES

Este estudo sobre o crescimento em povoamentos de eucaliptos não-desbastados possibilitou concluir:

- 1) As variáveis do povoamento (q , B/ha, V/ha, Hd e Ht) possuem relação direta com a capacidade produtiva, com diferentes taxas de crescimento ao longo do tempo.
- 2) A competição entre plantas começa mais cedo nos melhores sítios, implicando em estagnação do crescimento.
- 3) Existe relação direta entre o tamanho das árvores e a dinâmica de crescimento. Árvores maiores em uma idade inicial atingem tamanhos maiores em idades futuras. Conseqüentemente, a probabilidade das árvores morrerem é maior nas menores classes de diâmetro.
- 4) O número de árvores sobreviventes no local de maior produtividade é maior nos primeiros anos após o plantio. Contudo, com o passar do tempo, esse comportamento se inverte devido ao início do processo de competição entre plantas.
- 5) A mortalidade tendeu a ser normalmente distribuída nas menores classes diamétricas.
- 6) A mortalidade ocorreu principalmente nas árvores que não mudaram de classe de diâmetro, ou seja, árvores com baixa taxa de crescimento.
- 7) O ingresso de árvores nas menores classes diamétricas ocorreu independentemente da capacidade produtiva e da idade do povoamento. Contudo, o número de árvores que ingressaram foi muito pequeno.
- 8) O modelo de PIANNAR e SCHIVER (1981), ajustou-se bem aos dados das variáveis do povoamento o que demonstra a grande flexibilidade do modelo para descrever o comportamento destas variáveis.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, E.C.R.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M. e JÚNIOR H.K. Modelagem para prognose precoce do volume por classe diamétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n.61, p.86-102, 2002.

ALDER, D. **Models for basal area dynamics of mixed tropical forest: Neo-tropical experience and prospects for application in Ghana**. In: Kumasi Conference on "Growth Studies in Tropical Moist Forest of Africa", Kumasi, Ghana 12-21/11/1996. 13p.

ARCE, J.E.; PIZATTO, W.; SANQUETTA, C.R.; WENDLING, J.L.G. e MAESTRI, R. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v.27, n.1/2, p.83-98, 1997.

ASSAMANN, E. **The principles of Forest yield study**. New York: Pergamon Press, 1970. 506p.

AZEVEDO, C.P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequiliâneos pelo emprego da matriz de transição**. 1993, 118f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AZEVEDO, C.P.; SOUZA, A. L. e JESUS R.M. Predição do ingresso total de um povoamento florestal inequiliâneo na Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.18, n.3, p.179-193, 1994.

BAILEY, R.L. e DELL, T.R. Quantifying diameter distribution with the Weibull function. **Forest Science**, v.19, n.2, p.97-104, 1973.

BARROS, P.A.L. **Prognose e otimização da produtividade volumétrica em florestas inequiliâneas empregando um modelo matricial**. 1999, 82f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BEERS, T.W., Components of Forest Growth, **Journal of Forestry**, v.60, p.245-248, 1962.

BUCHMAN, R.G. **Survival predictions for major Lake States tree species**. Res.Pap. NC-233. St. Paul, MN: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station; 1983.7p.

BUONGIORNO, J. e MICHIE, B.R. A matrix model of uneven-aged Forest management. **Forest Science**, v.26, n.4, p.609-625, 1980.

CAMPOS, J. C. C. e LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e Respostas**, 1 ed. Viçosa, MG: 2002. 407p.

CAMPOS, J.C.C. e PEREIRA, A.R. **Métodos para estabelecimento de parcelas permanentes para o estudo de crescimento e produção em plantações de eucaliptos**. Viçosa, MG, SIF, U.F.V., 1981, 10p. (Boletim Técnico, 1).

CAMPOS, J.C.C. e RIBEIRO, J.C. **Produção dos povoamentos de *Eucalyptus ssp.* na região do triângulo mineiro.** Viçosa, MG, SIF, U.F.V., 1983, 10p. (Boletim Técnico, 1).

CAMPOS, J.C.C. e RIBEIRO, J.C. A análise de tronco como fonte de dados para estudos de crescimento florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.11, n.1, p.66-77, 1987.

CAMPOS, J.C.C.; ROSAS, M.P e LEITE, H.G. Comparação de alternativas de determinação da idade técnica de corte em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.20, n.1, p.37-49, 1996.

CAMPOS, J.C.C. e TURNBULL, K.J. Um sistema para estimar produção por classe de diâmetro e sua aplicação na interpretação de efeitos de desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.5, n.1 p.1-16, 1981.

CHAGAS, R.K.; OLIVEIRA-FILHO, A.T.; VAN DEN BERG, E. e SCOLFORO, J.R.S. Dinâmica de populações arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual montana em Lavras, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.25, n.1, p.39-57, 2001.

CLUTTER, J.L., FORSTON, J.C., PIENNAR, L.V., BRISTER, G.H., BAILEY, R.L. **Timber management: A quantitative approach.** New York: John Wiley & Sons, 1983. 333p.

CUNHA, U. S.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; SANQUETA, C. R. Predição da estrutura diamétrica de espécies comerciais de terra firme da Amazônia por meio de matriz de transição. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p.109-122, 2002.

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

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

EK, A.R. Nonlinear models for stand table projection in northern hardwood. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.4, p.23-27, 1974.

FERREIRA-FEDELE L.;FILHO M.T; BOTOSSO P.C. e GINNOTTI, E. Periodicidade do crescimento de *Esenbeckia leiocarpa* Engl. (guarantã) em duas áreas da região Sudeste do estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n.64, p.141-149, 2004.

FERREIRA, R.L.C.; SOUZA, A.L. e JESUS, R.M. Taxa de crescimento de uma floresta secundária de transição. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.22, n.2, p.451-461, 1998.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de Biometria Florestal.** Santa Maria, RS: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269p.

GUIMARÃES, D.P. **Desenvolvimento de um modelo de distribuição diamétrica de passo invariante para prognose e projeção da estrutura de povoamentos de eucalipto.** 1994, 178f.. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

HAMILTON, D.A., Jr. A logistic model of mortality in thinned and unthinned mixed conifer stands of Northern Idaho. **Forest Science**, v.32, n.4, p.989-1000, 1986.

HIGUCHI, N. **Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the Brazilian Amazon.** 1987, 129f.. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Michigan State University, Michigan – EUA.

HILLER, F.S. e LIEBERMAN, G.J. **Introduction to operations research.** 3.ed. San Francisco: Holden-Day, 1980. 829p

HUEBSCHMANN, M.M.; GERING, L.R.; LYNCH, T.B.; BITOKI, O. e MURPHY, P.A. An Individual-Tree Growth and Yield Prediction System for Uneven-Aged Shortleaf Pine Stands. **South. J. Appl. For.** v.24, n.2, p.112-120, 2000.

HUSCH, B., MILLER, C.I., BEERS, T.W. **Forest mensuration.** 3.ed. Malabar; Krieger Publishing Company, 1993. 402p.

LEE, J.Y. Prediction mortality for even-age stands of *lodgepole pine*. **Forestry Chronicle.** v.47, p.29-32, 1971.

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

LEITE, H.G. **Modelagem do crescimento e da produção (Modelos de Crescimento e Produção).** Viçosa, UFV, 2002, 25p. (Material didático).

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

MAESTRI, R.; SCOLFORO, J.R.S e HOSOKAWA R.T. Um sistema de predição do crescimento e da produção para povoamentos de acácia-negra (*Acácia mearnsii* de Wild) **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.19, n.3, p.358-381, 1995.

MACHADO, S.A. Estimativa de sobrevivência de *Pinus taeda* em plantios homogêneos. **Revista Floresta**, Curitiba, PR: v.10, n.1, p.73-76, 1979.

MACHADO, S.A. e FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria** 1ed, Curitiba, PR, 2003, 309p.

MACHADO, S.A.; TONON, A.E.N.; FIGUEREDO FILHO, A. e OLIVEIRA, E.B. Comportamento da mortalidade natural em Bracatingais nativos em diferentes densidades iniciais e classe de sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS: v.12, n.2, p.41-50, 2002.

MICHIE B.R. e McCANDLESS F.D. A matrix model of *Oak-Hickory* stand management and valuing forest land . **Forest Science**, v.32, n.3, p.759-768, 1986.

MIRANDA, R.C. **Análise da mortalidade regular, em função de características dendrométricas, de grupos de árvores semelhantes de Eucalipto**. 1990, 86f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MONSERUD, R.A. & STERBA, H. Modeling individual tree mortality for Austrian forest species. **Forest Ecology and Management**, n.113, p.109-123, 1999.

MONSERUD, R.A. Simulation of forest tree mortality. **Forest Science**, v.22, n.4, p.438-444, 1976.

NOGUEIRA, G.S. **Modelagem do crescimento e da produção de povoamentos de *Eucalyptus sp.* e de *Tectona grandis* submetidos a desbaste**. 2003, 132f.. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

NOGUEIRA, G.S.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; SOUZA, A.L. e COUTO, L. Determinação da idade técnica de desbaste utilizando o método dos ingressos percentuais. **Scientia Forestalis**, n.59, p.51-59, 2001.

OLIVEIRA, L.L.; FONTINHAS, R.L.; LIMA, A.M.M. e LIMA, R.J.S. **Mapas dos parâmetros climatológicos do estado do Pará: umidade, temperatura e insolação, médias anuais**. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-Ceará, Brasil 29/08 a 03/09/2004. 7p.

PIENAAR, L.V. **Quantitative Theory of forest Growth**. 1965, 191f.. Thesis (Ph.D.) – University of Washington, Seattle, Washington, EUA.

PIENAAR, L.V. e SHIVER, B.D. Survival functions for site prepared slash pine plantations in the flat woods of Georgia Northern Florida. **Southern Journal Forestry**, v.5, n.2, p.59-62, 1981.

RALSTON, R.; BUONGIORNO, J.; SCHULTE, B. e FRIED, J. Non-linear Matrix modeling of forest growth with permanent plots data: The case of uneven-aged Douglas-fir stands. **International Transactions in Operational Research**, v.10, p.461-482, 2003.

ROSAS, M.P. **Alternativas de determinação da idade técnica de corte de *Eucalyptus urophylla***. 1994, 85f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ROSOT, M.A.D.; DISPARATI, A.A. e FIGUEREDO FILHO, A. Medição da área de anéis de crescimento usando imagens digitais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.25, n.1, p.79-88, 2001.

SCHNEIDER, P.R.; FORTES, F.O.; SOUZA, L.H.S.; LÚCIO, A.D.; FINGER, C.A.G. e SCHNEIDER, P.S.P. Análise da mortalidade de *Acácia mearnsii* De Wild. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS: v.15, n.2, p.137-143, 2005.

SCOLFORO, J.R.S. **Sistema integrado para predição e análise presente e futura do crescimento e produção, com otimização de remuneração de capitais, para *Pinus caribea* var. *hondurensis***. 1990, 308f.. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, L.A.; SOUZA, A.L. e JESUS, R.M. Ciclo de corte de uma floresta natural secundária por meio da metodologia do tempo de passagem por classes diamétricas sucessivas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.23, n.3, p.293-299, 1999.

SOARES, C.P.B. **Um modelo para o gerenciamento da produção de madeira em plantios comerciais de eucalipto**. 1998, 72f.. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOMERS, G.L.; ODERWALD, R.G.; HARMS, W.R. e LANGDON, O.G. Predicting mortality with a Weibull distribution. **Forest Science**, v.26,n.2, p.291-300, 1980.

SOUZA, A.L.; ARAUJO, P.A.; CAMPOS, J.C.C. e PAULA NETO, F. Dinâmica de crescimento em diâmetro de uma floresta primária sem interferência: uma análise pelo tempo de passagem entre classes diamétricas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG: v.17, n.2, p.129-145, 1993.

STEEL, R.G.D. e TORRIE, J.H. **Principles and Procedures of Statistics**. McGraw-Hill Book Company, INC, New York. 1960. 481p.

STERBA, H.; BLAB, A. e KATZENSTEINER, K. Adapting an individual tree growth model for Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in pure and mixed species stands. **Forest Ecology and Management**, n.159, p.101-110, 2002.

TREVISOL JUNIOR, T.L. **Análise de um modelo compatível de crescimento e produção em plantações de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden)**. 1985, 88f.. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

VANCLAY, J.K. **Modelling Forest Growth and Yield: Applications to Mixed Tropical Forest**. CBA International, Wallingford, USA. 1994. 312p.

VON GADOW, K. e BREDENKAMP, B. **Forest Management** 1^a ed, Academica, Pretoria, 1992.151p.

WEST, P.W. Simulation of diameter growth and mortality in regrowth eucalypt forest of Southern Tasmania. **Forest Science**, v.27, n.3, p.603-616, 1980.

YANG, Y.; TITUS, S.J. e HUANG, S. Modeling individual tree mortality for white spruce in Alberta. **Ecological Modelling**, n.163, p.209-222, 2003.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, Bethesda, v.39, n.3, p.594-616, 1993.

ZHAO, D.; BORDERS, B. e WILSON, M. Individual-tree diameter growth and mortality models for bottomland mixed-species hardwood stands in the lower Mississippi alluvial valley. **Forest Ecology and Management**, n.199, p.307-322, 2004.