

**Anais da reunião técnica:  
Biometria florestal - modelos de  
crescimento e produção**

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Florestas  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 257**

# **Anais da reunião técnica: Biometria florestal – modelos de crescimento e produção**

Evaldo Muñoz Braz  
Patricia Pova de Mattos  
(Editores técnicos)

Embrapa Florestas  
Colombo, PR  
2013

## **Embrapa Florestas**

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,  
83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

[www.cnpf.embrapa.br](http://www.cnpf.embrapa.br)

[cnpf.sac@embrapa.br](mailto:cnpf.sac@embrapa.br)

## **Comitê Local de Publicações**

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Alvaro Figueredo dos Santos, Cláudia Maria

Branco de Freitas Maia, Elenice Fritzsos, Guilherme

Schnell e Schuhli, Jorge Ribaski, Luis Claudio Maranhão

Froufe, Maria Izabel Radomski, Susete do Rocio Chiarello

Penteado

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Patrícia Póvoa de Mattos

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Edição eletrônica: Rafele Crisostomo Pereira

Foto da capa:

## **1ª edição**

Versão digital (2013)

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Embrapa Florestas**

---

Reunião técnica : biometria florestal : modelos de crescimento e produção (2013 : Colombo, PR).

Anais da reunião técnica : biometria florestal: modelos de crescimento e produção, Colombo, PR, 29 de outubro de 2013 [recurso eletrônico] / editores técnicos, Evaldo Muñoz Braz e Patrícia Póvoa de Mattos. – Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2013.

(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; 257)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/item/221>>

Título da página da Web (acesso em 08 jan. 2014)

1. Iniciação científica - Embrapa Florestas - Evento. 2. Dendrometria. 3. Manejo florestal. 4. Biometria florestal. I. Braz, Evaldo Muñoz, ed. II. Mattos, Patrícia Póvoa de, ed. III. Série.

CDD 001.44 (21. ed.)

# Editores técnicos

## **Evaldo Muñoz Braz**

Engenheiro florestal, Doutor,  
Pesquisador da Embrapa Florestas,  
evaldo.braz@embrapa.br

## **Patricia Pova de Mattos**

Engenheira-agrônoma, Doutora,  
Pesquisadora da Embrapa Florestas,  
patricia.mattos@embrapa.br



# Apresentação

A reunião técnica foi estruturada para cada aluno apresentar um capítulo do livro *Biometria Florestal: modelos de crescimento e produção florestal*, de autoria de Scolforo (2006). Cada aluno ficou responsável por explicar o conteúdo, e apresentar exemplos da literatura para cada capítulo estudado.

Essa estratégia de estudo em grupo tem sido muito proveitosa, pela elevação do nível de conhecimento de todos, facilitando o aprofundamento de discussões técnicas e enriquecendo a formação profissional dos alunos.

Sergio Gaiad  
Chefe de Pesquisa e Desenvolvimento



# Sumário

Crescimento e produção florestal .....	11
Crescimento e produção das variáveis dendrométricas ....	14
Variáveis fundamentais nos modelos de produção .....	20
Métodos para estimativa da altura por meio da análise de tronco .....	25
Métodos para classificação de sítios florestais .....	29
Técnicas de predição e projeção do crescimento e produção como suporte para o manejo florestal.....	33
Modelos biomatemáticos e modelos implícitos de produção e crescimento .....	39
Modelos para povoamentos desbastados.....	42
Modelos para árvores individuais .....	48
Modelagem em florestas nativas .....	55
Taxa de corte sustentada em Floresta Ombrófila Densa...	62



# Anais da reunião técnica: Biometria florestal – modelos de crescimento e produção

*Evaldo Munhoz Braz  
Patricia Povoia de Mattos  
(Editores técnicos)*

**Programa: Reunião técnica: Biometria florestal – modelos de crescimento e produção**

**Organização: Evaldo Muñoz Braz e Patricia Povoia de Mattos**

**Local e data: Auditório da ACN, Embrapa Florestas, 29/10/2012**

08:00	08:30	Abertura e apresentação dos participantes	Evaldo Muñoz Braz
08:30	09:00	Crescimento e produção florestal	Alessandro Dias Borges
09:00	09:30	Crescimento e produção das variáveis dendrométricas	Romell Alves Ribeiro
09:30	10:00	Variáveis fundamentais nos modelos de produção	Tiago Souza Kretzer
10:00	10:30	Intervalo	
10:30	11:00	Métodos para estimativa da altura por meio da análise de tronco	Roger Sousa Fiusa
11:00	11:30	Métodos para classificação de sítios florestais	Vitor Dressano Domene
11:30	12:00	Técnicas de predição e projeção do crescimento e produção como suporte para o manejo florestal	Aline Canetti
12:00	13:00	Almoço	

**Programa: Reunião técnica: Biometria florestal – modelos de crescimento e produção****Organização: Evaldo Muñoz Braz e Patricia Pova de Mattos****Local e data: Auditório da ACN, Embrapa Florestas, 29/10/2012**

---

13:00	13:30	Modelos biomatemáticos e Modelos implícitos de produção e crescimento	Andreia Taborda dos Santos
13:30	14:00	Modelos para povoamentos desbastados e Modelos para árvores individuais	Rafaella Curto
14:00	14:30	Modelagem em florestas n ativas	Mariana Ferraz Oliveira
14:30	15:00	Taxa de corte sustentada em Floresta Ombrófila Densa	Pollyni Ricken
15:00	15:30	Intervalo	
15:30	17:00	Debate: Biometria florestal – modelos de crescimento e produção	Moderadores: Evaldo Muñoz Braz e Patrícia Póvoa de Mattos

## Crescimento e produção florestal

**Alessandro Dias Borges**

SCOLFORO, J. R. S. Crescimento e produção florestal. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 9-12.

É de grande interesse florestal a inferência correta sobre o crescimento de uma árvore ou povoamento, sendo possível usar essas informações para definir a rotação silvicultural e prognosticar a produção florestal, dentre outras aplicações (VANCLAY, 1994).

Diversas metodologias e modelos de crescimento foram desenvolvidos para a aferição do crescimento de uma árvore ou povoamento. As maneiras mais usuais de expressar este crescimento é o incremento médio anual (IMA), o incremento corrente anual (ICA) e o incremento periódico (IP). De acordo com Vanclay (1994), o aumento do diâmetro do tronco pode ser expresso como uma função de produção, a qual estima diâmetros futuros, ou como uma função de crescimento, que estima o incremento durante um período específico.

O incremento corrente anual (ICA) é o crescimento ocorrido ou a diferença na produção do elemento dendrométrico dentro do período de 1 ano. O incremento médio anual (IMA) é a razão entre a produção do elemento dendrométrico considerado a partir do ano zero e a idade da população florestal ou da árvore. O incremento periódico (IP) é o crescimento do elemento dendrométrico considerado durante um determinado período de tempo, sendo este mais recomendado para a avaliação de florestas nativas.

Finger et al. (2003) avaliaram o crescimento de pau ferro (*Astronium balansae*), através de análise de anéis de crescimento em amostras provenientes de um reflorestamento e de área de

regeneração natural, visando quantificar o desenvolvimento da espécie através dos incrementos médio e corrente em volume. Durante o estudo, verificou-se que as árvores oriundas da regeneração possuíam cerne desenvolvido, muito irregular, e não permitiram uma distinção clara entre os anéis de crescimento, impossibilitando a avaliação do crescimento dos indivíduos. Ao analisar as árvores provenientes do reflorestamento, determinaram que as mesmas não tinham atingido seu máximo incremento médio anual, não permitindo, neste ponto, a determinação da idade de corte adequada, assim como o máximo potencial de crescimento da espécie, referente a produção volumétrica e idade de rotação do plantio, do ponto de vista biológico.

O crescimento em diâmetro de *Eucalyptus grandis* foi analisado por Rezende e Ferraz (1986) para a determinação da máxima produtividade anual. Nesse estudo de caso, a máxima produtividade e a idade de corte foram determinadas através do incremento corrente anual (ICA) e do incremento médio anual (IMA), ambos em volume. A idade de corte foi estabelecida a partir da análise gráfica das curvas do incremento médio anual (IMA) e do incremento corrente anual (ICA), identificando o ponto máximo pelo ponto de interceptação das curvas. Esses autores determinaram ainda o IMA e o ICA em massa, obtendo idade de corte superior ao calculado por métodos tradicionais, ressaltando que outros aspectos devem ser levados em conta e que podem antecipar erroneamente a idade de corte.

Chassot et al. (2011) através de uma diferente metodologia, determinaram um modelo de crescimento para árvores individuais, baseada em estimativas de produção através do diâmetro e aspectos fitossociológicos, como posição socioecológica, circunferência à altura do peito (CAP) e altura total. O autor determinou um modelo de produção em que a melhor estimativa para um diâmetro futuro apresentava

melhor correlação com o diâmetro atual em função da posição socioecológica do indivíduo.

Através do incremento dendrométrico é possível determinar o crescimento de florestas, assim como espécies, e obter um prognóstico da produção, sendo estas informações de extrema valia para o setor florestal. O conhecimento adequado sobre o crescimento de uma árvore, povoamento ou floresta permite um planejamento adequado da produção e a aplicação de tratamentos silviculturais no momento preciso, idade de corte ideal, dentre outros.

## Referências

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. et al. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, n. 2, p. 303-313, abr./jun. 2011.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R.; BERGER, R.; ELEOTÉRIO, J. R. Investigação retrospectiva do crescimento volumétrico de pau-ferro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 1, p. 131-136, 2003.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Incrementos anuais de volume, massa e idade ideal de corte para *Eucalyptus grandis*, **IPEF**, Piracicaba, n. 32, p. 43-48, 1986.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

## **Crescimento e produção das variáveis dendrométricas**

### **Romell Alves Ribeiro**

SCOLFORO, J. R. Crescimento e produção das variáveis dendrométricas. In: \_\_\_\_\_. Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 13-39.

O conhecimento das variáveis dendrométricas é fundamental para se definir estratégias de manejo, seja sob a ótica silvicultural, econômica, ambiental ou social, tanto para florestas plantadas como para florestas nativas.

O crescimento em diâmetro das espécies depende do genótipo, da produtividade do sítio e do espaçamento. A curva de produção em diâmetro será mais inclinada, quanto mais produtivo for o sítio, e assim mais cedo ocorrerá o máximo incremento corrente anual em diâmetro e maiores serão estes valores quando comparados com sítios menos produtivos. O espaçamento tem grande influência no desenvolvimento diamétrico das populações florestais. Espaçamentos maiores entre plantas propiciam uma maior média aritmética dos diâmetros que espaçamentos mais reduzidos, e essa análise pode determinar o uso da madeira, ou a estratégia de manejo.

O crescimento em altura das árvores em uma população florestal vai depender do genótipo, da produtividade do sítio, do espaçamento e da posição do povoamento. A curva de produção em altura será mais inclinada, quanto mais produtivo for o sítio, e assim maiores serão os valores do incremento corrente anual e mais cedo estes ocorrerão. Existem controvérsias em relação ao espaçamento, mas pode-se assumir que em espaçamentos menores há um maior crescimento em altura, já que a procura por luz pode induzir a um maior desenvolvimento que em espaçamentos mais amplos. O máximo incremento

corrente anual em altura ocorrerá mais cedo em espaçamentos menores. A respeito da posição do povoamento, se a planta está sombreada, tendo quantidade de luz apenas para se manter ou ter superávit para um lento crescimento em qualquer variável dendrométrica, o ponto que ela atingirá o incremento corrente anual será mais tardio.

O crescimento em área basal e volume são influenciados pela densidade e pelos demais fatores mencionados para o diâmetro e altura. De maneira geral, o incremento corrente anual em área basal ocorre mais cedo do que o incremento corrente anual em volume.

Coelho et al. (1970) analisaram o comportamento do crescimento em diâmetro, altura e volume de 4 espécies de eucaliptos submetidos a 2 espaçamentos (3 m x 2 m e 3 m x 1,5 m), por um período de 4 anos. Esses autores constataram que os diâmetros apresentados no espaçamento 3 m x 2 m foram maiores em todos os anos de estudo, e que o volume empilhado de madeira com casca produzido aos 5 anos foi maior no espaçamento 3 m x 1,5 m.

Para que o máximo incremento médio anual em volume seja detectado é necessário monitorar através de parcelas permanentes o desenvolvimento das plantas contidas na área monitorada ao longo do tempo, e então construir modelos de projeção da produtividade. Estes propiciarão antever a idade em que ocorrerá este ponto máximo. Se este ponto máximo for detectado muito cedo, pode-se inferir que o espaçamento está reduzido, ou que há falta de adubação nos povoamentos. Quando este fato ocorrer em sítios muito produtivos é comum a aplicação de desbastes como estratégia de manejo. Em sítios pouco produtivos, onde a prática do desbaste é antieconômica, a estratégia de manejo é a de ampliar o espaçamento, o que implica em menos custos e árvores de maior porte em

diâmetro. Espera-se ao final da rotação (longo prazo) que a produção do povoamento desbastado seja similar à soma das produções obtidas quando a prática do desbaste é efetuada. As justificativas para a aplicação destes sistemas são de ordem econômica e para evitar a mortalidade. De qualquer maneira, a função principal da seleção do espaçamento é proporcionar determinada competição para a(s) espécie(s) selecionada(s), visando seleção dos melhores indivíduos.

No que se refere a florestas naturais, o crescimento e a produção são diferentes, de acordo com as tipologias florestais e ambientais. Por exemplo, em florestas tropicais clímax, as espécies arbóreas geralmente crescem muito lentamente, mesmo em condições favoráveis de temperatura e precipitação. Tais espécies podem levar décadas para atingirem um tamanho ideal de corte. Caso ocorra alguma perturbação na área, os níveis de incremento tendem a aumentar por algum tempo, até ocorrer novamente a estabilização. Uma observação importante com relação ao crescimento das árvores é que existe correlação entre o crescimento diamétrico e a quantidade de luz recebida pelas copas. Segundo Schneider e Schneider (2008), o crescimento em diâmetro de árvore individual é afetado pela densidade populacional, sendo sensível a mudanças causadas por desbaste. O crescimento em diâmetro indicará o grau de aproveitamento da madeira e a sua importância. Segundo esses autores, árvores dominantes respondem melhor às mudanças de densidade, uma vez que estão em posição mais favorável para competir com as demais pela luz, umidade e outros elementos.

Árvores com danos no fuste, na copa ou dominadas por cipós apresentam crescimento diamétrico mais lento. O incremento em diâmetro é menor também nas menores classes diamétricas, já que o número de plantas é maior e a competição por luz, água e nutrientes é mais acentuada. As plantas que compõem o dossel da floresta, e ainda não atingiram a senescência, são as

que crescem a uma maior taxa, pois tem menor competição, já estão bem estabelecidas com a copa recebendo luminosidade, e sistema radicular bem estabelecido. As árvores que já atingiram a fase de senescência apresentam taxas menores de crescimento em diâmetro.

Schaaf et al. (2005), estudaram o incremento diamétrico no período de 1979 a 2000 de espécies arbóreas de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista, e constataram que os maiores incrementos diamétricos periódicos foram verificados nas classes diamétricas entre 60 cm e 70 cm. As classes diamétricas acima de 80 cm foram desconsideradas, pois apresentavam baixa frequência de indivíduos. As classes diamétricas inferiores, representadas pelos diâmetros menores que 40 cm, foram as que apresentaram os menores incrementos diamétricos. Os autores relatam que as árvores mais grossas, que estão estabelecidas há mais tempo, gozando de uma posição privilegiada dentro do dossel, apresentaram incrementos diamétricos maiores e com menor variabilidade.

Com relação à produção das florestas nativas de grande porte há uma enorme variabilidade na produção em volume a qual depende basicamente da localização da floresta, de sua composição florística e do diâmetro mínimo de medição.

A mortalidade em florestas pode ser classificada como regular, que é aquela que se refere à competição, supressão e ao próprio envelhecimento da árvore. Também pode ser classificada como irregular, ocorrendo com menos frequência. Essa é provocada por fenômenos adversos, como a incidência de pragas, doenças, fogo, vento, temperatura, enchente, seca, além de outras causas. A mortalidade em florestas que sofrem intervenções é muito expressiva logo após a exploração. Passado certo tempo, a tendência é estabilizar e retornar ao nível de uma floresta primária. Isso pode ser explicado porque muitas árvores são

mortas durante as operações de exploração, enquanto outras são severamente danificadas e morrem pouco tempo depois.

Assim como a mortalidade, o recrutamento é de extrema importância em qualquer expressão de crescimento de um povoamento. O recrutamento realimenta a floresta com mudas e pequenas árvores. É preciso que um número mínimo de árvores sobreviva e cresça, possibilitando os futuros ciclos de corte, para que a produção florestal seja sustentável.

Sanquetta et al. (2003) avaliaram a mortalidade e o recrutamento em duas áreas florestais de *Araucaria angustifolia*, sendo que uma delas sofreu sistematicamente raleamentos de sub-dossel para manejo de erva-mate e também corte seletivo de madeira, o que não ocorreu na segunda. Os resultados mostram que a floresta que não foi manejada, dada a sua maior densidade, vem sofrendo com a maior competição e, por isso, apresentou um maior número de árvores mortas. A mortalidade foi quase o dobro da floresta onde houve o manejo. Foram evidenciadas altas taxas de recrutamento na floresta manejada em comparação a floresta não manejada. Isto indica que as práticas de manejo com corte seletivo e raleamento de sub-bosque podem ter favorecido o recrutamento por dessas espécies.

Em florestas homogêneas os níveis de produtividade variam enormemente em função da espécie, procedências, sítios, idade, espaçamento, manejo e constituição genética.

## Referências

COELHO, A. S. R.; MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W. Comportamento de espécies de Eucaliptos face ao espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 1, p. 29-55, 1970.

SANQUETTA, C. R.; CÔRTE, A. P. D.; EISFELD, R. de L. Crescimento, mortalidade e recrutamento em duas florestas de Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze.) no Estado do Paraná, Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 101-112, jan./jun. 2003.

SCHAAF, L. B.; FILHO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; GALVÃO, F. Incremento diamétrico e em área basal no período 1979-2000 de espécies arbóreas de uma Floresta Ombrófila Mista localizada no sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 271-290, maio/ago. 2005.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. O. **Manejo florestal**. Santa Maria, RS: UFSM, 2008. 195 p.

## Variáveis fundamentais nos modelos de produção

### Tiago Souza Kretzer

SCOLFORO, J. R. S. Variáveis fundamentais nos modelos de produção. In: \_\_\_\_.

**Biometria florestal:** modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 40-62.

A modelagem do crescimento e da produção florestal busca prognosticar a produção volumétrica em área basal, ou em peso, em função de uma série de variáveis possíveis de serem quantificadas no povoamento florestal. Nos modelos globais as variáveis mais comuns são a idade, o sitio e uma medida qualquer de densidade. Se forem os modelos por classe diamétrica, devem-se agregar variáveis tais como o diâmetro mínimo, diâmetro máximo e o diâmetro médio quadrático, dentre outros. As variáveis fundamentais num modelo de produção são: idade, sitio, densidade e sobrevivência.

A mudança na idade do povoamento é a definição implícita de crescimento e produção em um determinado período de tempo.

O sitio para fins de manejo pode ser definido como sendo o conjunto de fatores ecológicos (fatores climáticos, edáficos e biológicos), que influem no desenvolvimento de povoamentos num determinado local. A determinação da qualidade do local é uma prática comum no manejo florestal, classificando os plantios florestais segundo sua capacidade produtiva.

Entre as medições diretas de densidade, encontra-se o número de árvores, cujo valor pode ser obtido facilmente e objetivamente, mas é dependente da idade do povoamento, das características do sitio, bem como da intensidade do uso da área. Isso porque o número de árvores pode variar, sem afetar a densidade de uso do solo, o que depende do grau de ocupação do espaço físico pelas árvores, pela área das copas e pelo sistema radicular.

As medidas de densidade média usadas são: número de árvores por hectare; área basal por hectare; densidade relativa; índice de densidade do povoamento (Índice de Reineke); índice de espaçamento (Índice de Hart-Backing) e fator de competição da copa.

A regulação da densidade normalmente é feita através dos desbastes. Para ações de manejo e para a predição do crescimento e da produção do povoamento, o ideal é que a medida de densidade seja fácil e objetivamente mensurada, apresente comportamento biológico e seja altamente correlacionada com o crescimento e a produção. A densidade do povoamento pode influir no estabelecimento das espécies durante o período de regeneração, na qualidade do tronco, na taxa de crescimento em diâmetro e na produção em volume. A densidade relativa basicamente combina a área basal com o diâmetro médio quadrático.

Téo et al. (2008) ajustou modelos para os dados de bracatingais, traçando a curva do índice de densidade relativa (IDR), que representa o número de árvores por unidade de área que um povoamento deveria ter, com um determinado diâmetro médio quadrático. Para se obter a curva de máximo IDR, primeiramente o autor determinou o ponto com maior IDR (densidade relativa de 100%).

O número de árvores por hectare é o índice de densidade mais simples. O número de árvores é a medida usual em povoamentos equiâneos e não desbastados com idade e sitio conhecidos.

A área basal é também amplamente utilizada para medir a densidade. É facilmente mensurada e seu valor depende tanto do número de árvores como de seu tamanho. Tem sido utilizada com sucesso nos modelos de crescimento e produção, sendo recomendada especialmente nos modelos globais de produção já que é mais correlacionada com o volume por hectare que o

número de árvores. Em termos absolutos, não expressam bem a densidade. Por exemplo, 20 m<sup>2</sup> de área basal é muito para uma população jovem e pouco para uma população adulta.

O número de árvores por hectare associado com uma variável adicional ou índice de densidade do povoamento, que é o Índice de Reineke, consiste em associar o número de árvores ao diâmetro médio quadrático, ou seja, é calculado pelo número de árvores em função do diâmetro da árvore de área seccional média na população. A grande vantagem deste procedimento é descrever a densidade independentemente da idade e do sitio, já que o diâmetro médio quadrático reflete o efeito destas.

Schneider et al. (2008), com os dados de número de árvores por hectare e diâmetro médio observados nas parcelas permanentes do povoamento, ajustou as equações de densidade, diâmetro e autodesbaste, propostas pelo índice de Reineke.

O Índice de densidade de Hart-Backing (IDHB), ou índice de espaçamento relativo é obtido da associação do número de árvores com a altura média das árvores dominantes, ou seja, é baseado na distância média entre árvores e a altura das árvores dominantes. O princípio deste procedimento é que uma espécie em uma determinada idade deve ter um espaço suficiente para desenvolver um determinado diâmetro de copa.

A densidade da copa ou fator de competição da copa indica percentualmente a área do solo que é coberta pela projeção vertical da copa das árvores. Esse método apresenta alguns problemas, como a cobertura da copa não ser fortemente correlacionada com a área basal e o espaço ocupado pelas raízes ser determinante para a área útil de crescimento das árvores e não precisamente a área da copa.

Em plantios florestais, as árvores de plantios homogêneos e puros tendem a expandir as copas tanto no sentido horizontal

como vertical, e interceptar maior quantidade de energia solar à medida que se desenvolvem. Por isso, numa população a competição entre os indivíduos aumenta com a idade, culminando com a dominação de algumas árvores e morte de outras.

A competição é uma variável quantitativa importante em modelos de crescimento e produção florestal. No entanto, é difícil de ser mensurada, pois não se conhecem suas causas diretas, bem como a ligação entre a competição, a redução dos recursos disponíveis e a redução da taxa de crescimento.

Martins et al. (2011) verificaram o comportamento dos índices de competição em função da idade, tendo analisado graficamente a tendência média de cada um dos índices em relação à idade, para cada classe de produtividade. Após esta etapa, também realizaram a análise de correlação simples entre os índices de competição e as variáveis de crescimento (diâmetro e altura), mortalidade e variáveis do povoamento (idade e área basal), para cada classe de produtividade.

A densidade que induz a mortalidade é o resultado da competição por água, luz e nutrientes entre os indivíduos da população. Por isto, como regra geral, a mortalidade promove um distúrbio na população e decréscimo exponencial da densidade.

Alguns índices de competição conhecidos são: Staebler, Gerrard, Hegyi, Bella, dentre outros. Estes índices têm sido utilizados como base para os modelos de crescimento e produção desenvolvidos para árvores individuais.

A questão da mortalidade e sobrevivência em povoamentos florestais é, sem dúvida, um ponto de grande interesse para o manejo da floresta, podendo esta mortalidade ser considerada como regular e irregular. A mortalidade regular é aquela causada por fatores endógenos ou intrínsecos à árvore, e

pode se manifestar a partir do plantio com a morte das mudas menos vigorosas. A mortalidade irregular é causada por fatores exógenos, que são decorrentes de causas como pragas, doenças, incêndios, etc.

Desconsiderando a contribuição do ingresso, um povoamento florestal irá gradualmente ser reduzido em número a uma taxa decrescente com o tempo, até que todas as árvores eventualmente morram. Como o povoamento inequiano é caracterizado por um decréscimo na frequência de árvores à medida que os diâmetros das árvores aumentam, é esperado que as frequências de mortalidade sejam maiores nas classes de diâmetro inferiores em número absoluto e maior nas extremidades (menores e maiores diâmetros) em valores relativos.

## Referências

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, n. 9, p. 1089-1098, set. 2011.

SCHNEIDER, P. S. P.; FLEIG, F. D.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Avaliação da relação densidade e diâmetro em povoamento de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 18, n. 4, p. 481-491, out./dez. 2008.

TÉO, S. J.; MACHADO, S. A.; SILVA, L. C. R.; FIGURA, M. A. Índice de densidade do povoamento para bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba, PR. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 54-61, jan./mar. 2008

## Métodos para estimativa da altura por meio da análise de tronco

**Roger Sousa Fiusa**

Acadêmico de Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná,  
rogerfiusa@yahoo.com.br

SCOLFORO, J. R. S. Métodos para estimativa da altura por meio da análise de tronco. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 63-82.

A análise de tronco é uma técnica que possibilita reconstruir o crescimento passado das árvores através da soma dos incrementos anuais em diâmetro e informações de altura. Com base nestes incrementos obtêm-se informações sobre mudanças na forma e no crescimento em volume de determinadas árvores.

A determinação do incremento em altura mediante análise de tronco não é muito simples devido ao padrão de crescimento das árvores ser cônico e a dificuldade de se encontrar a posição dos nós anuais de crescimento.

Vários métodos foram desenvolvidos para estimar a localização do nó de crescimento anual acima da seção de corte. Estes métodos foram divididos em dois grupos: métodos de contagem dos anéis e método de contagem e medição da largura dos anéis de crescimento.

Para definir as árvores dominantes de um povoamento devem ser alocadas parcelas ao acaso na área em estudo. Seguindo o conceito de altura dominante de Assmann, as duas árvores mais grossas da parcela devem ser selecionadas, abatidas e seccionadas. Desta forma pode-se: contar o número de anéis de crescimento em cada disco; determinar o número de anéis internos, que são os anéis mais internos de um disco que não estão presentes no disco imediatamente superior; determinar a

idade relacionada com cada anel interno; calcular a altura nas diferentes idades.

### **Método gráfico**

O Método gráfico foi introduzido por Mlodziansky em 1898. Esse método consiste em plotar a altura do disco com a idade da árvore naquele disco correspondente, sendo assim, a idade para tal disco é igual ao número de anéis contados neste disco. Pelo método gráfico a altura não pode ser determinada para todas as idades, portanto constrói-se uma curva de ligação entre estes pontos. Desta forma, a altura da árvore correspondente a qualquer idade poderá ser lida diretamente nesta curva.

### **Método de Graves**

Em 1906, Graves descreveu um método para a determinação do comprimento do crescimento final anual em altura que se encontra na seção acima do disco observado e que desta forma, não pode ser mensurada. Seu método se baseou no pressuposto que: “O crescimento em altura é constante para cada ano que termina na seção que contém o ponto final do crescimento anual em altura”.

Este método divide uma seção igualmente entre os anéis internos existentes no disco observado, podendo utilizar para prever a altura associada a qualquer anel interior de um disco.

### **Método de Lenhart**

Criado em 1972, este método apresenta uma pequena variação do método descrito por Graves, uma vez que assume que os pontos onde o crescimento em altura termina são igualmente distribuídos ao longo da seção que o contém.

### **Método de Carmean**

Criado também em 1972 é baseado em dois princípios:

- a) O crescimento anual em altura é constante para qualquer ano, independente de estar completa ou parcialmente contido dentro da mesma seção.
- b) Em média o disco é retirado no meio da altura de crescimento anual.

### **Método de Newberry**

Elaborado em 1978, é um procedimento trigonométrico que utiliza o conceito de similaridade entre triângulos. Isto implica que o crescimento anual em altura, que culmina em qualquer seção, tem a mesma inclinação do último ano, independente da idade. Assim, obtendo-se os raios dos anéis internos e o comprimento total do fuste acima do corte de onde foi retirado o disco, pode-se determinar na tangente do ângulo de inclinação o ano correspondente de crescimento.

### **Método das proporções**

Proposto por Brister e Schultz, este método particiona o comprimento da seção proporcionalmente à largura dos anéis internos existentes, ou seja, o comprimento da seção é dividido pela mesma proporção existente entre os raios dos anéis internos.

### **Método de Carmean modificado por Newberry**

Newberry em 1991 observou, sobre o método proposto por Carmean, que o mesmo não se aplica para o topo da árvore acima da última superfície de observação. Uma vez que o nó anual do último ano de crescimento, para o topo da árvore, encontra-se no final da seção e não no centro da mesma, conforme a primeira pressuposição do método de Carmean. Assim, a média anual do crescimento em altura para o período em questão será sempre subestimada em relação à altura verdadeira da árvore na última seção, assumindo que os outros

pressupostos sejam verdadeiros. Tal problema pode ser corrigido pela subtração de 0,5 ano apenas para a última seção, podendo-se obter maior acurácia.

### **Método de Targ**

O método de Targ (*tree annual radial growth*), desenvolvido por Kariuki em 2002, foi baseado em duas pressuposições. Primeira, assume-se que uma dada percentagem do crescimento anual em altura, que está completa ou parcialmente contida em uma seção de tronco, está associada com igual percentagem de crescimento anual radial da base da seção. A segunda pressuposição é que a distância em relação à base da seção superior, do último nó anual de crescimento, que está contida dentro da distância da seção, pode ser estimada pela razão entre a largura do anel associado com o crescimento anual em altura e a largura acumulada dos anéis anuais de crescimento na seção considerada.

Machado et al. (2010), em estudo com seis árvores de regeneração natural com idade mínima de 11 anos, observaram que os métodos de Carmean (1972) e Lenhart (1972) apresentaram desempenhos idênticos, pois resultaram em estimativa de altura semelhante quando havia apenas um anel de crescimento terminando numa mesma seção. Concluíram que esses dois métodos foram os melhores por terem gerado desvios não significativos para a maioria das árvores estudadas.

## **Referências**

MACHADO, S. do A.; SILVA, L. C. R. da; FIGURA, M. A.; TÊO, S. J.; NASCIMENTO, R. G. M. Comparison of methods for estimating heights from complete stem analysis data for *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 20, n. 1, 2010.

## Métodos para classificação de sítios florestais

### Vitor Dressano Domene

Acadêmico de Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná,  
vitordressanodomene.d2@gmail.com

SCOLFORO, J. R. S. Métodos para classificação de sítios florestais. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 83-152.

Para se estabelecer o uso do solo adequado, em um talhão, é de suma importância que seja conhecida a produtividade deste local. Essa é estabelecida através da classificação de sítios, determinando sua capacidade produtiva e isso é possível com a construção de curvas de índice de sítio. O tipo de sítio ganha ainda mais importância quando se trata de investimentos de empresas que atuam na área florestal, pois o produto, no caso a madeira, necessita de um tempo maior de rotação do que as culturas agrícolas. Outro motivo é que cada espécie comercial tem um tipo de sítio que melhor satisfaz suas demandas fisiológicas.

Segundo Scolforo (2006), a determinação da qualidade de sítio pode ser realizada por método indireto ou direto. No indireto são levados em consideração para estimar a capacidade produtiva fatores primários que independem do ecossistema (topografia, macroclima e rocha de origem) e fatores secundários desenvolvidos e influenciados por componentes do ecossistema (lençol freático, microclima e matéria orgânica). No método direto a capacidade produtiva é medida basicamente pelo crescimento da floresta e pode ser realizada através de quatro maneiras. A primeira é proveniente de registros históricos, entretanto, não é comumente utilizado na área florestal por ser esta uma atividade relativamente nova, além dos diferentes tipos de tratamentos silviculturais e os tempos de rotação utilizados para as diferentes espécies. A segunda é através do volume e da área basal do

povoamento, porém sua aplicabilidade fica comprometida, pois essas variáveis são influenciadas por outros fatores que estão além da qualidade do sítio. A terceira se baseia no crescimento periódico em altura, porém é um método limitado, pois poucas espécies possuem os verticilos bem definidos. A quarta medida quantitativa da capacidade produtiva do lugar, realizada através de dados de altura, é o método direto de medir sítio mais prático, onde a avaliação da qualidade de sítio é feita com base nos dados de altura média das árvores dominantes.

A idade do povoamento na ocasião em que é determinado o índice de sítio é denominada idade-índice ou idade-referência. De acordo com Selle et al. (2008), a idade-índice é escolhida arbitrariamente e recomenda-se o uso da idade de rotação da espécie, ou seja, idade do corte raso.

A maioria dos métodos que se baseiam na altura para classificação da qualidade do sítio usam as curvas do índice de sítio. Os dados para a construção das curvas de índice de sítio podem ser obtidos de três modos: perante a instalação de parcelas permanentes, que permitem o acompanhamento individual de cada árvore analisando o seu crescimento em altura em períodos conhecidos; através de parcelas temporárias, onde é necessária uma grande intensidade amostral onde apenas um par de valores idade-altura é obtido de cada parcela e, também, com a utilização da análise do tronco (anatro) completa, técnica que fornece inúmeros pares idade-altura, dependendo da sua idade.

Na intensidade amostral o número de árvores medidas depende da variabilidade da altura total e idades nos povoamentos que estão sendo avaliados. Existem dois tipos de curva índice de sítio, a curva anamórfica onde sua característica marcante é a proporcionalidade entre as curvas que compõem a família de curvas e a curva polimórfica que tem por característica não apresentar proporcionalidade entre as curvas de crescimento em altura das árvores dominantes, entre classes de sítios diferentes.

Para a construção das curvas de índice de sítio podem ser utilizados dois métodos, o mais antigo é o método gráfico, que consiste em plotar os pontos das alturas dominantes sobre as respectivas idades, onde posteriormente era traçada a curva guia entre os pontos, que servia de referência para as curvas de índice de sítio. O outro método existente é o analítico, que envolve o uso de modelos matemáticos lineares ou não lineares, como os modelos de Schumacher, de Chapman-Richards e de Bailey-Clutter. Para a construção da curva de índice de sítio é escolhido o modelo que apresentar os melhores parâmetros estatísticos como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o coeficiente de variação (CV), o erro padrão da estimativa ( $S_{xy}$ ), o valor de F e a distribuição dos resíduos.

De acordo com Selle et al. (1994), devido ao fato das árvores apresentarem taxas de crescimento diferenciadas ao longo do tempo e que variam de acordo com as condições ambientais e intervenções humanas, é possível construir os fundamentos matemáticos que estimam o crescimento em determinado sítio. Esta descrição pode ser feita com uma função apropriada com o emprego de técnicas de regressão múltipla ou não linear.

As curvas de índice de sítio se mostram confiáveis quando os dados de uma parcela remeida em diferentes períodos permanecem ao longo da vida da árvore dentro da mesma classe de sítio. As curvas de índice de sítio são ferramentas muito importantes, uma vez que propiciam um aumento na precisão dos inventários florestais, pois o sítio é uma das bases mais sólidas de estratificação; permite também a definição de práticas de adubação e tratos silviculturais mais otimizadas, além de possibilitar a definição com a maior precisão de diferentes rotações econômicas.

## Referências

SELLE, G. L.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Classificação de sítio para *Pinus taeda* L., através da altura dominante para a região de Cambará do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 4, n. 1, p. 77-95, 1994.

SELLE, G. L.; PAULESKI, D. T.; BRAZ, E. M. **Como classificar sítios florestais através da altura dominante do povoamento**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. (Embrapa Florestas. Documentos, 166).

## Técnicas de predição e projeção do crescimento e produção como suporte para o manejo florestal

### Aline Canetti

Acadêmica de Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná, alinecanetti@hotmail.com

SCOLFORO, J. R. S. Técnicas de predição e projeção do crescimento e produção como suporte para o manejo florestal. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 153-181.

Modelos são a maneira mais lógica de se expressar o crescimento ou incremento e a produção florestal e podem ser caracterizados por gráficos e tabelas, equações ou conjuntos de submodelos. As duas grandes tendências são os modelos biométricos e os modelos baseados em processos.

A generalização na informação pode ser feita utilizando-se os modelos baseados em processos, que possuem menor precisão de informação. Já nos modelos biométricos a informação é restrita à base de dados que a gerou, no entanto, apresenta alta precisão.

Modelos baseados em processos se baseiam na interação entre planta, solo e atmosfera e conferem uma visão mais generalista e fisiologicamente embasada para a estimativa do crescimento. Ajudam no entendimento do crescimento e da dinâmica dos povoamentos, mas ainda não têm sido usados com sucesso para prever a produção de madeira em florestas manejadas. São três os tipos de modelos baseados em processos: os modelos ecofisiológicos, os modelos baseados no clima e os modelos baseados na arquitetura das árvores.

Nos modelos ecofisiológicos a abordagem é baseada na descrição da planta em compartimentos. Visam prever a produção como um resultado do funcionamento da planta e descrevem o crescimento em termos de volume, biomassa ou carbono da vegetação florestal, com influência do ambiente ou de processos

ecológicos. Eles podem ser utilizados para auxiliar a atividade experimental e prever consequências de atividades de manejo.

Os modelos baseados no clima incluem uma constante climática, que representa as mudanças climáticas. São conduzidos por parâmetros meteorológicos como temperatura, precipitação, umidade e radiação solar.

Os modelos baseados na arquitetura das árvores são a modelagem da estrutura e crescimento da planta, e têm sido objeto das maiores mudanças nas últimas décadas. Ajudam a desenvolver experimentos silviculturais virtuais que podem ser úteis na sugestão de experimentos futuros.

Já os modelos descritivos, biométricos ou empíricos reproduzem muito bem as situações do mundo real, mas estritamente dentro da base de dados considerada na sua formulação. Utilizando fontes de variação como sítio, área basal e idade, propiciam prognoses do crescimento e produção florestal com elevado grau de confiabilidade. A partir deles é possível prescrever regimes de manejo adequados para cada espécie, em cada sítio, que visem a qualidade do produto final. Com a prognose da produção também é possível viabilizar a adoção de um plano de suprimento através da otimização da produção ou ainda da minimização de custos.

Podem ser classificados em modelos para o povoamento, modelos por classe diamétrica e modelos para árvores individuais. Estudos evidenciam que os três tipos de modelos biométricos propiciam estimativas acuradas da produção, então a escolha do modelo de produção depende basicamente do nível de detalhamento que se quer.

Os modelos em nível de povoamento devem ser geralmente aplicados quando estimativas gerais sobre a população são desejadas. Eles não fornecem elementos para que se proceda a uma avaliação econômica das várias opções de utilização

dos produtos florestais, além de serem inflexíveis para analisar desbastes a serem simulados para o povoamento.

Os modelos de distribuição por classe diamétrica possibilitam a avaliação econômica dos produtos discriminados por classe de tamanho. Computacionalmente são mais dispendiosos que os modelos para todo o povoamento, além de serem inflexíveis para analisar uma ampla faixa de desbastes a serem simulados no povoamento.

Já os modelos para árvore individual apresentam um máximo detalhamento e flexibilidade para avaliar opções de utilização e tratamentos no povoamento. Entretanto, suas aplicações são mais dispendiosas, requerendo grande tempo de execução para que estimativas das variáveis de interesse do povoamento sejam obtidas. Por outro lado, a combinação com métodos dendrocronológicos cruzados com inventários de censo (utilizados obrigatoriamente em florestas naturais), podem agilizar as análises desejadas.

Existem dois tipos de modelos de produção, o modelo de produção explícito, que é aquele em que a solução das equações que o compõe propicia a predição da produção por unidade de área, e o modelo de produção implícito, que é aquele em que as equações que o compõem propiciam informações sobre a estrutura do povoamento.

Quanto aos modelos de produção ao nível de povoamento, existem os modelos de produção normal, os empíricos e os de densidade variável.

Os modelos de produção normal são tabelas de dupla entrada, onde o volume por unidade de área é função da idade e do sítio, fornecendo estimativas de crescimento líquido e da produção de povoamentos puros de mesma idade e completamente estocados. Este tipo de tabela apresenta uma série de inconvenientes: as variáveis independentes não podem ser acuradamente avaliadas; só se aplicam a povoamentos como

os descritos, sendo que estes não são mais abundantes. Este fato acarreta ineficiência da tabela, já que elas praticamente não foram usadas para crescimento e predição de povoamentos manejados; advém de parcelas temporárias; e as tabelas são elaboradas graficamente, o que dificulta as relações envolvendo mais de duas variáveis (idades e sítio).

Os modelos de produção empíricos são similares aos modelos de produção normais, mas se baseiam em áreas de estoque médio, ao invés de unidades amostrais com densidade completa. A densidade é considerada constante e a predição é expressa para a densidade média do povoamento. Esta tabela de produção pode ser aplicada a povoamentos completamente estocados e/ou superestocados ou subestocados (classificação de acordo com a cobertura do solo pelas copas), bastando para isso considerar-se a densidade média.

Os modelos de produção de densidade variável foram desenvolvidos tendo como base que a produção é função do sítio, idade e densidade, e que a densidade é uma variável dinâmica e não uma constante. Apresentam a produção para vários níveis de estoque, pelo fato de serem construídos a partir de unidades amostrais com diferentes densidades e consideram esta característica como uma variável independente do modelo. Desta maneira, eliminou-se a necessidade de se coletar informações de densidade como se esta fosse uma constante, e pode-se calcular o volume para diferentes densidades. Os dados para sua confecção provêm de parcelas de áreas conhecidas, de preferência de parcelas permanentes mensuradas de maneira criteriosa.

Pode-se sugerir o uso deste modelo para fazer estimativas de produção, quando o objetivo final é a obtenção de volume por hectare. Estas tabelas apresentam vantagens em relação às tabelas de produção normais, pois qualquer boa amostra de dados pode ser usada nesta solução, não existe necessidade de restringir trabalhos para povoamentos completamente

estocados como nas tabelas de produção normais e o conceito de estoque relativo ou normalidade pode ser eliminado. Medidas de densidade como área basal, número de árvores, dentre outras, podem ser introduzidas no modelo, e a solução obtida pode ser aplicada para povoamentos sub, super e completamente estocados.

Com intuito de ilustrar a teoria de modelos de crescimento e produção, nos próximos parágrafos serão citados exemplos atuais de sua utilização no Brasil.

Vaccaro et al. (2003) modelaram funções de incremento em área basal para árvores de três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidual, as quais foram denominadas de capoeirão, floresta secundária e floresta madura. Observaram que, para as árvores da Floresta Estacional Decidual da região do estudo, o incremento periódico anual em área basal pode ser estimado por equações próprias desenvolvidas para cada estágio sucessional ou por meio de uma equação geral, independente do estágio sucessional, sem perda de precisão das estimativas.

Chassot et al. (2011) modelaram o crescimento em diâmetro para árvores individuais de *Araucaria angustifolia*, ocorrentes no Rio Grande do Sul. Foi construído um modelo de produção, tendo como variável dependente o diâmetro futuro, utilizando regressão e análise de covariância. Como variáveis independentes, foram utilizadas as características dimensionais e sociológicas dos indivíduos e os índices de concorrência independentes de distância. Somente o diâmetro atual, multiplicado por um coeficiente, acrescido de um valor constante o qual diferiu de acordo com a posição sociológica do indivíduo, foi eficiente para prever o diâmetro futuro. Foram construídas três variações do modelo de produção. Esses modelos apresentaram melhores estimativas para indivíduos de *Araucaria angustifolia* emergentes, no entanto, o seu emprego na prognose de crescimento de

árvores individuais deve ser cauteloso devido à magnitude dos erros de predição que apresentou.

Salles et al. (2012) testaram formas de uso do modelo de produção Clutter para estimar o crescimento e a produção de clones de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. Foram avaliadas plantas de 20 a 95 meses e o número médio de árvores por hectare do local era de 242. As melhores relações funcionais foram obtidas a partir do uso do modelo original de Clutter, com base na significância e nos sinais esperados das estimativas de seus parâmetros e concluíram que o ajuste do modelo de Clutter deve ser feito na sua forma completa.

## Referências

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, n. 2, p. 303-3130, 2011.

SALLES, T. T.; LEITE, H. G.; NETO, S. N. de O.; SOARES, C. P. B.; PAIVA, H. N. de; SANTOS, F. L. dos. Modelo de Clutter na modelagem de crescimento e produção de eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 2, p. 253-260, 2012.

VACCARO, S.; FINGER, C. A. G.; SCHENEIDER, P. R.; LONGHI, S. J. Incremento em área basal de árvores de uma floresta estacional decidual, em três fases sucessionais, no município de Santa Teresa, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 13, n. 2, p. 131-142, 2003.

## Modelos biomatemáticos e modelos implícitos de produção e crescimento

**Andreia Taborda dos Santos**

Engenharia florestal, Mestre, andreiataborda@yahoo.com.br

SCOLFORO, J. R. S. Modelos biomatemáticos. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 183-194.

SCOLFORO, J. R. S. Modelos implícitos de produção e crescimento. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal**: modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 195-271.

Von Bertalanffy em 1951, a partir da relação alométrica nos organismos, apresentou uma função matemática que ficou conhecida na América como modelo de Chapman-Richards. Foi apresentada para representar uma função de produção como taxa de crescimento em relação ao tempo ou taxa de crescimento relativo, proporcionando informações do crescimento em relação ao tamanho do organismo (peso, ou volume).

Em florestas plantadas a distribuição diamétrica é básica para que a predição ou prognose da produção possa ser implementada. Estas prognoses são *inputs* mais fundamentais para que planos de manejo com base na otimização possam ser implementados na empresa florestal.

Em florestas nativas e sem idade definida a distribuição diamétrica é importante, pois nos mostra a amplitude dos diâmetros para se distinguir diferentes tipos de florestas; possibilita a elaboração de tabelas de produção; fornece base para identificar a intensidade de regeneração natural; possibilita implementação de técnicas para remover árvores por classe de diâmetro, entre outras.

A distribuição unimodal é característica de povoamentos jovens e equiâneos. Eventualmente, espécies de floresta nativa considerada de forma isolada podem apresentar este tipo de

distribuição. A multimodal apresenta mais de um ponto de maior frequência, não sendo biologicamente importante, pois normalmente é uma distribuição forçada.

A função decrescente é característica de tipos florestais onde há regeneração contínua. É o caso da maioria das florestas nativas de composição variada em espécie e idade. A distribuição contínua foi uma das maiores ações da biometria florestal, pois possibilitou a descrição da estrutura diamétrica das populações através da distribuição matemática definida como função de densidade de probabilidade. Destacam-se como tais a distribuição de Weibull, Beta,  $S_B$  e  $S_B$  de Johnson, Gamma, Log-normal e Normal.

Estas distribuições permitem obter a probabilidade das árvores ocorrerem dentro de intervalos ou classes de diâmetro, em que haja um limite inferior e outro superior. A distribuição Gamma é uma função flexível, podendo ser aplicada em florestas nativas ou plantadas. Pode-se assumir ou ajustar a diferentes tipos de curvas, passando por diversos graus de assimetria.

Stepka et al. (2011) ajustaram as distribuições Normal, Beta, Gamma, Weibull e Polinomial num povoamento de *Eucalyptus* sp. na região centro-sul do Paraná. A distribuição Beta é muito flexível, podendo assumir várias formas para uma ampla faixa de distribuição de diâmetros. A desvantagem da distribuição é que a função de produção deve ser numericamente integrada para se obter as probabilidades nos vários intervalos de classes diamétricas, para obter a proporção de árvores em cada classe de diâmetro. Pode-se assumir ou ajustar a diferentes tipos de curvas, passando por diversos graus de assimetria.

A distribuição Weibull pode assumir diferentes formas, ajustando-se bem aos dados de floresta nativa, até as florestas equiâneas, com distribuição unimodal. O trabalho de Nascimento et al. (2012) teve por objetivo revisar as características ligadas ao desenvolvimento e aplicação de modelos de crescimento e produção por distribuição

diamétrica, revisando os aspectos da modelagem de povoamentos nativos, primários, ou que sofreram alterações estruturais. A distribuição Sb foi primeiro descrita por Johnson em 1949 e apresentada na área florestal por Hafley e Schreuder em 1977.

Arce (2004) avaliou a distribuição diamétrica de seis florestas clonais de *Populus deltoides* por meio do ajuste das funções de Sb de Johnson entre outras. Machado et al. (2006), também ajustaram a função Sb de Johnson para estudar a dinâmica da distribuição diamétrica com relação à idade, em povoamentos nativos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.).

## Referências

- ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 14, n. 1, p. 149-164, 2004.
- MACHADO, S. do A.; BARTOSZECK, A. C. P. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; OLIVEIRA, E. B. Dinâmica da distribuição diamétrica de bracatingais na região metropolitana de Curitiba. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 759-768, 2006.
- NASCIMENTO, R. G. M.; MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; HIGUCHI, N. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 209-219, abr./jun. 2012. DOI: doi: 10.4336/2012.pfb.32.70.93
- STEPKA, T. F. Funções densidade de probabilidade para a estimativa da distribuição diamétrica em povoamento de *Eucalyptus* sp na região centro-sul do Paraná. **Ambiência**, Guarapuava, v. 7, n. 3, p. 429-439, set./dez. 2011.

## Modelos para povoamentos desbastados

**Rafaella Curto**

SCOLFORO, J. R. S. Modelos para povoamentos desbastados. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 272-280.

O desbaste é uma prática silvicultural que influi no crescimento, através da regulação da densidade, espaçamento, distribuição das árvores por classe de vigor e de qualidade e por classe de tamanho.

Cada vez mais os manejadores florestais necessitam de modelos quantitativos para a predição do crescimento de povoamentos desbastados, que forneçam elementos que possibilitem a avaliação das intensidades, métodos, época e número de desbastes.

Modelos de crescimento e produção em nível de povoamento, ou de povoamento total, não explicam diretamente a variação do tamanho das árvores dentro do povoamento, e estimam o crescimento e/ou a produção a partir de atributos em nível de povoamento (CAMPOS; LEITE, 2006). A escolha de um modelo de crescimento e produção em nível de povoamento é feita em função do tipo de informação pretendida, dos dados disponíveis, do nível de detalhamento necessário e das características do povoamento.

A escolha de relações funcionais do tipo  $Y = f(I)$ , em que  $Y$  = variável dependente e  $I$  = idade, são de aplicação limitada e não devem ser utilizadas em áreas extensas e heterogêneas. Relações do tipo  $Y = f(I,S)$ , em que  $S$  = sítio, resultam em estimativas mais consistentes, permitindo avaliar o efeito da capacidade

produtiva. Nesse caso, idades técnicas de colheita (ITC) são obtidas para cada índice de local, contudo, a consideração das duas variáveis independentes não garante a consistência na definição da idade de colheita. Já as relações funcionais do tipo  $Y = f(I, S, q, B \text{ ou } N)$  com a densidade expressa pela área basal, ou pelo diâmetro médio, ou pela frequência, resultam em informações mais detalhadas, em que o crescimento, a produção e a ITC são diferenciados por índice de local e densidade inicial. Essas relações permitem modelar o crescimento e produção em plantações submetidas a desbaste, simulando o efeito dos regimes de desbaste (CAMPOS; LEITE, 2006).

A seguir serão apresentados três procedimentos para predição do crescimento e produção em povoamentos desbastados:

**Procedimento 1** - O modelo de crescimento e produção do tipo povoamento total mais difundido nas empresas florestais brasileiras é o de Clutter, em que a produção é dada em função das idades atual e futura, do índice de local na idade atual e das densidades atual e futura. O referido modelo é utilizado para simular crescimento de uma plantação não desbastada. A tendência das curvas de crescimento, após o desbaste, pode variar com determinadas características do povoamento original e com a intensidade de desbaste. Para simular desbaste em plantação não desbastada admitem-se as mesmas tendências de crescimento antes e após o desbaste (CAMPOS; LEITE, 2006).

**Exemplo 1:** Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto (DIAS et al., 2005)

Para avaliar a aplicabilidade do modelo de Clutter em povoamentos desbastados, foi necessário obter as informações de volume, área basal, índice de local e idade em cada medição (27, 40, 50, 58, 61 e 76 meses).

Equações foram utilizadas para estimar as produções presente e futura em volume e área basal e para calcular os incrementos médios mensais (IMM). Tais informações foram usadas para construir uma tabela de produção de densidade variável (TPDV), a partir da qual se determinou a idade técnica de corte (ITC), para cada índice de local.

Realizaram-se simulações de desbaste na TPDV, para obter o volume desbastado e o volume do corte final. Definiu-se como a idade de realização do desbaste a idade referente a 3 meses antes da idade de maior IMM para cada índice de local. Analisaram-se intensidades de desbaste de 35% e 50%.

O modelo de Clutter foi eficiente para estimar a produção presente e futura em volume e área basal dos povoamentos submetidos a desbaste; Observou-se que, à medida que são utilizados índices de local maiores na TPDV, há tendência de os povoamentos atingirem a ITC mais cedo; Quanto maior a intensidade de desbaste, menor a ITC; Em termos de produção volumétrica, não houve diferença significativa do regime com desbaste e sem desbaste, para os índices de local e intensidades de desbaste testados.

**Procedimento 2** - Pienaar e Shiver propuseram equações de predição e projeção da área basal que podem ser usadas tanto em povoamentos desbastados como não desbastados sobre uma ampla faixa de idade, qualidade de sítio, densidade e intensidade de desbaste. Porém, o modelo foi desenvolvido para florestas temperadas, marcada por rotações longas (GORGENS et al., 2007).

A magnitude da diferença em área basal entre povoamentos desbastados e não desbastados de mesma idade, mesmo número de árvores e mesma altura média das árvores dominantes dependerá da idade em que ocorreu o desbaste, assim como da intensidade do mesmo.

Assim, para simular desbastes em plantações originalmente desbastadas, com acréscimo de um termo modifica-se a área basal de uma plantação não desbastada, de determinada idade, número de árvores por hectare e altura dominante média, de forma a prever a área basal para uma compatível plantação desbastada.

**Exemplo 2:** Tendência de crescimento de povoamento de eucalipto após aplicação de desbaste (GORGENS et al., 2007).

Realizou-se uma adaptação do modelo de Piennar e Shiver às condições tropicais; Os dados foram divididos em pré e pós-desbastes, e ajustou-se o modelo de Clutter para cada conjunto obtido; Os dados foram divididos de acordo com os tratamentos aplicados (20%, 35% e 50% de desbaste) ajustando o modelo de Clutter para cada estrato, denominados Clutter 20, 35 e 50; o modelo de Clutter Geral foi ajustado para todos os dados.

Sugeriu-se mesclar o modelo de Clutter com o de Piennar e Shiver. O modelo proposto apresentou características semelhantes às do modelo de Clutter, não acrescentando ao modelo maior flexibilidade.

A igualdade estatística verificada entre as curvas do modelo proposto de pré e pós-desbaste, com o modelo de Clutter Geral, evidencia que o modelo de Clutter pode ser usado sem prejuízo para a simulação de desbaste.

Através da igualdade estatística entre Clutter Geral e Clutter 20, 35 e 50, pode-se usar o modelo de Clutter para a simulação de diferentes desbastes, mesmo este não diferenciando tendências de crescimento.

**Procedimento 3 – Segundo** Knoebell et al. (1986), Scolforo (1990) e Scolforo (1988), citados por Scolforo (2006), quando utilizando a distribuição Weibull numa amostra que sofreu

desbaste verifica-se que, embora as distribuições preditas se aproximem das observadas, algumas discrepâncias podem ser verificadas entre a tabela do povoamento desbastado e a tabela do povoamento não desbastado. As predições da distribuição de diâmetro antes e após desbaste por baixo, segundo o modelo, não poderiam ser executadas independentemente, mas condicionadas a um algoritmo de desbaste para não ocorrer inconsistências.

A alternativa foi que a distribuição diamétrica seja efetuada antes do desbaste e então a proporção de área basal em cada classe de diâmetro seja removida para simular desbaste. Assim, é impossível o número de árvores aumentar numa determinada classe de diâmetro após se efetuar o desbaste, o diâmetro mínimo pode somente aumentar e o diâmetro máximo diminuir, se em todas as classes de diâmetros ocorre a remoção de área basal.

A função foi definida especificando a quantidade de área basal removida em cada classe, assim considerando o desbaste por baixo, a função removerá mais árvores nas menores classes. As expressões devem ser ajustadas ao número de desbastes devido às diferenças no tamanho das classes.

**Exemplo 3:** Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste (BINOTI et al., 2010).

O objetivo foi propor um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de eucalipto submetidos ao desbaste, com a inclusão do parâmetro de locação da função Weibull.

Os tratamentos corresponderam a 20%, 35% e 50% de área basal removida em cada desbaste, eliminando-se os piores indivíduos. As parcelas foram mensuradas aos 27, 40, 50, 58, 61, 76, 87, 101 e 112 meses, com um desbaste realizado aos 58 meses. Foram medidos o dap e alturas totais.

Ajustou-se a função Weibull com três parâmetros, sendo o modelo construído com o parâmetro de locação. Todos os ajustes da função Weibull apresentaram aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Foram feitas simulações da distribuição de diâmetros em idades futuras.

O realismo biológico do sistema de equações foi comprovado pela estagnação da distribuição de diâmetros na idade imediatamente antes do desbaste, quando o número de árvores que ingressaram em novas classes foi reduzido. Com o desbaste, a competição entre as árvores foi reduzida, permitindo incremento maior de indivíduos em novas classes. O modelo apresentado é consistente e compatível, sendo indicado para uso em manejo de florestas de eucalipto submetidas a desbaste.

## Referências

BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; SILVA, M. L. M.; GARCIA, S. L. R.; CRUZ, J. P. Uso da função Weibull de três parâmetros em um modelo de distribuição diamétrica para plantios de eucalipto submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, p. 147-156, 2010.

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

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

GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; NOGUEIRA G. S.; DIAS, A. N. Tendência de crescimento de povoamento de eucalipto após aplicação de desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 879-885, 2007.

## Modelos para árvores individuais

### Rafaella Curto

SCOLFORO, J. R. S. Modelos para árvores individuais. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 281-298.

Uma das maneiras de obter conhecimento sobre o crescimento de espécies é utilizando modelos de crescimento, que possibilitam a predição de produção, partindo-se das condições atuais (CHASSOT et al., 2011). A diferença básica entre modelos para árvores individuais e para os em nível de povoamento está na entrada de dados. No primeiro, para as variáveis preditas utilizam-se algumas estatísticas referentes às árvores individuais. No segundo, para as variáveis utilizam-se pelos menos algumas estatísticas em nível de povoamento. Segundo Campos e Leite (2006), há uma extensa literatura sobre modelos de crescimento de florestas homogêneas e equiâneas. No entanto, os trabalhos são simples e não explicam diretamente a variação do tamanho das árvores dentro do povoamento, não sendo aplicáveis para florestas de múltiplas espécies e inequiâneas (VANCLAY, 1994).

Segundo Vanclay (1994), para determinar o crescimento e incremento de espécies que compõem florestas nativas, deve-se lançar mão de técnicas de modelagem de crescimento, considerando as árvores de forma individual. Ainda, segundo Vanclay (1994), o aumento do diâmetro pode ser expresso como função de produção, que estima diâmetros futuros, ou como função de crescimento, que estima o incremento durante um período específico.

O conceito de densidade está estritamente ligado às condições de concorrência, ocupação da superfície e fechamento do dossel. Assim, a densidade pode ser utilizada como variável de decisão para intervenções silviculturais, como em modelos simuladores

de crescimento e na prognose de produção, nos quais é expressa por meio de índices de concorrência, que podem ou não levar em consideração a distância entre a árvore concorrida e a concorrente (PRODAN et al., 1997 citados por CHASSOT et al., 2011).

Se o objetivo for estimar crescimento em curto prazo, a utilização de um índice de competição no modelo, normalmente, é suficiente para produzir boas estimativas. No entanto, para estimar tendências no crescimento, mudanças de habitat e sucessão em longo prazo, é insuficiente (TONINI, 2007).

As dimensões da copa e do tronco mudam em função de influências genéticas e ambientais, e o que medimos em um índice de competição se deve, em parte, às condições passadas, não existindo garantias de que estas condições permanecerão imutáveis no futuro. Em curto prazo, podemos fazer predições seguras baseadas na performance passada; em longo prazo é necessário o conhecimento de mecanismos competitivos que permitam o acesso às mudanças no capital de nutrientes, água e luz para uma determinada planta (BARCLAY; LAYTON, 1990 citados por TONINI, 2007).

Portanto, os índices de competição constituem uma forma simples e de baixo custo para investigar efeitos de interações competitivas no crescimento e mortalidade das árvores, porém, em bases limitadas (TONINI, 2007).

### **Modelos para árvores individuais independentes da distância**

Os dados de entrada são relativos às árvores individuais, sem se preocupar com informações a respeito de seu espaçamento e distância em relação às demais árvores. Tais modelos assumem a existência de uma estreita correlação entre árvores, as variáveis do povoamento e o status competitivo da árvore. O método é normalmente aplicado para simular crescimento e produção de plantações de mesma idade.

Segundo Clutter et al. (1983) citado por Scolforo (2006), a maioria dos modelos independentes da distância utilizam tabela do povoamento, constituída por informações tais como o número de árvores por unidade de área e altura média por classes de diâmetro; idade; e índice de sítio como dados de entrada. As equações que compõem tais modelos são utilizadas para gerar tabelas futuras de povoamentos similares às presentes, possibilitando que o volume total e por classe diamétrica seja projetado para o futuro.

Nos índices independentes de distância, a concorrência é medida pela relação das dimensões da árvore objeto com variáveis do povoamento, como número de árvores por hectare, área basal por hectare e altura média (CHASSOT et al., 2011).

**Exemplo 1:** Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. (CHASSOT et al., 2011).

Para a construção de um modelo de crescimento diamétrico para árvores individuais de *A. angustifolia*, utilizou-se informações de 251 indivíduos.

Foi construído um modelo de produção, tendo como variável dependente o DAP futuro. As variáveis utilizadas para modelagem foram o DAP e a área basal (2000 e 2007), a altura total, a relação hipsométrica, a posição sociológica, a tendência à valorização, a classe de copa e os índices de concorrência independentes de distância, calculados para o ano de 2007.

Para quantificar a concorrência foram utilizadas três formas de cálculo de índice de Glover e Hool, que relaciona a dimensão da árvore principal com a dimensão média das vizinhas, e duas formas de cálculo de índice de BAL (*basal area in larger trees*), que representa a soma da área basal das árvores maiores que a principal, considerando como competidoras aquelas com área transversal maior que a árvore principal.

A variável melhor correlacionada com o diâmetro de 2007 foi o diâmetro de 2000, mostrando que a variável diâmetro pode ser usada para modelagem de crescimento. Observou-se que, apesar de os índices de concorrência terem uma alta correlação com o diâmetro, não entraram no modelo de regressão. Isso demonstra que esses índices, da maneira como foram calculados, não conseguem expressar o crescimento e, assim, têm sua utilidade comprometida em uso para modelagens de árvores individuais.

**Exemplo 2:** Modelo de incremento para árvores singulares – *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez (DELLA-FLORA et al., 2004)

Objetivou-se formular modelos de crescimento de florestas mistas, por meio da modelagem do incremento da *Nectandra megapotamica*. Em cada unidade amostral permanente (uap), foram identificados botanicamente, numerados e medidos todos os indivíduos nos anos de 1994 e 1997 com DAP igual ou maior a 5 cm. Foi determinada a posição sociológica e calcularam-se a área basal individual de todas espécies, área basal por hectare e, como medida de concorrência, fez-se o cálculo da BAL (ou seja, árvores de área basal maior que a *Nectandra megapotamica*, individualmente). A concorrência foi testada mediante a área basal por hectare, área basal de árvores mais grossas que a central e pelo incremento em área basal ocorrido no período de 1994 a 1997.

Foi possível explicar o incremento da *Nectandra megapotamica* mediante modelos que usam como variáveis independentes as características dimensionais das árvores, índices de concorrência e aspectos do sítio; A BAL foi uma boa medida da concorrência, sendo melhor que a área basal por hectare não selecionada no modelo. Constatou-se que o incremento é reduzido com o aumento da concorrência (expressa pela BAL ou posição sociológica).

A respeito da inclusão do índice de concorrência em modelos de árvores individuais, no trabalho desenvolvido por Chassot et al. (2011) os índices não foram recomendados como variável de entrada provavelmente pelo fato das araucárias já terem atingido o dossel e por isso não sofrerem interferência/concorrência com as demais espécies. Já no trabalho de Della-Flora et al. (2004) o índice de concorrência apresentou influência no crescimento, sendo recomendado como entrada em modelos de árvores individuais, pois os indivíduos de *Nectandra megapotamica* avaliados estão concorrendo com as outras espécies e, provavelmente, esta espécie não se destaca no dossel, como ocorre com a *Araucaria angustifolia*.

### **Modelos para árvores individuais dependentes da distância**

Deve-se salientar que estes modelos apresentam saídas de informações mais detalhadas que os anteriores, proporcionando grande flexibilidade para a avaliação de práticas silviculturais (desbastes) adotadas para o povoamento. Em contrapartida, estes modelos necessitam de uma base de dados muito detalhada e gastam mais tempo de computação, sendo, portanto, mais dispendiosos e não fornecem resultados mais precisos que os demais modelos que expressam o crescimento e a produção florestal.

Atributos de árvores e do povoamento são fornecidos ou gerados e cada árvore é mapeada com as coordenadas para sua localização. O crescimento de cada árvore é simulado em função do seu tamanho, da qualidade de sítio e da medida de competição proveniente das árvores vizinhas. O índice de competição varia, mas em geral é definido em função do tamanho da árvore em relação ao tamanho e a distância para as competidoras.

Conforme Daniels e Burkhardt (1975) citado por Scolforo (2006), o centro para todos os modelos individuais é o índice de competição, usado na determinação do crescimento e mortalidade durante a simulação. Estes índices quantificam a habilidade competitiva das árvores, e na maioria dos casos são utilizados para representar o efeito da competição (luz, água, nutrientes e espaço físico).

**Exemplo 3:** Análise do crescimento e simulação de manejo de um plantio de *Ocotea porosa* (SANTOS, 2012).

Visando determinar e avaliar o crescimento de *Ocotea porosa* sob condições de plantio, em povoamento não manejado, foram selecionadas 12 árvores distribuídas em classes diamétricas. A competição foi testada por meio de índices de concorrência independentes, *Basal Area in Larger Trees* – BAL e Glover e Hool, e dependentes da distância, o Índice de Hegyi.

O índice de Hegyi se mostrou sensível para avaliar as diferenças de crescimento em área basal entre as árvores; o índice de BAL se mostrou pouco eficiente para explicar as condições de competição; e o índice de Glover e Hool apresentou alta correlação com o incremento em área basal.

Assim, o resultado encontrado para o índice de Glover Hool confirmou que as árvores estão em alto grau de competição, sendo o crescimento influenciado por árvores vizinhas. Além disso, o índice foi o que apresentou valores mais altos de correlação com o crescimento diamétrico, de forma que a inclusão do referido índice em modelos de árvores individuais possibilita determinar a área basal por árvore individual. Já o índice dependente da distância, por ter apresentado correlação ruim com o incremento em área basal, não é recomendado como entrada no modelo de árvore individual.

## Referências

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

CHASSOT, T.; FLEIG, F. D.; FINGER, C. A. G.; LONGHI, S. J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em floresta ombrófila mista. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 21, n. 2, p. 303-313, 2011.

DELLA-FLORA, J. B.; DURLO, M. A.; SPATHELF, P. Modelo de incremento para árvores singulares: *Nectandra megapotamica* (Spreng.) Mez. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 14, n. 1, p. 165-177, 2004.

SANTOS, A. T. **Análise do crescimento e simulação de manejo de um plantio de *Ocotea porosa***. 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TONINI, H. **Índices de competição e o seu uso na modelagem de crescimento das árvores**. Roraima: Embrapa Roraima, 2007. 30 p. (Embrapa Roraima. Documentos, 8).

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield**: applications to Mixed Tropical Forest. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994. 312 p.

## Modelagem em florestas nativas

**Mariana Ferraz Oliveira**

Mestranda de Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná,  
marianaferraz.floresta@gmail.com

SCOLFORO, J. R. S. Modelagem em florestas nativas. In: \_\_\_\_\_. **Biometria florestal:** modelos de crescimento e produção florestal. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. p. 299-355.

Devido à heterogeneidade e ao desconhecimento da idade, que dificulta a obtenção do índice de sítio, a teoria da projeção de tabelas de povoamento para florestas nativas baseia-se na existência de dados de incremento em diâmetro, bem como no entendimento de como esses dados podem ser aplicados. Para o estudo da dinâmica de populações, que consiste no monitoramento por determinado período das mudanças em termos de distribuição e abundância, faz-se necessária a consideração das taxas de mortalidade e recrutamento, pois estas, em conjunto com taxas de crescimento, indicam alterações demográficas na população. A mortalidade representa o número de indivíduos que morreram em determinado período, já o recrutamento é referente ao número de árvores que ultrapassam a dimensão mínima estabelecida para a inclusão entre dois períodos.

Na década de 70, Moser gerou um sistema de equações diferenciais para caracterizar a dinâmica de crescimento de uma floresta nativa, chamado **modelo de produção global**. Este não gera informações por classe de diâmetro e caracteriza a estrutura pela equação diferencial da área basal ou número de árvores em relação ao tempo. No modelo de Moser, a mortalidade e recrutamento são considerados separadamente, em número de árvores ou em área basal. Além disso, necessita dos dados de taxa de crescimento.

Apesar do modelo não considerar que, em termos absolutos, a mortalidade é maior nas classes de diâmetros inferiores e que o crescimento em área basal é maior nas classes de diâmetros superiores, de forma genérica, o modelo permite inferir a dinâmica de uma floresta sem distúrbios, sendo útil no estabelecimento de um plano de manejo. Na atualidade são mais usados para prognose da produção de florestas nativas os modelos por classe diamétrica. Estes consideram que os diâmetros se distribuem em diferentes classes diamétricas, assim como a estimativa de crescimento. Neste caso a tabela de produção do povoamento é viabilizada a partir da taxa de crescimento em diâmetro presente, sendo que a mortalidade e as árvores que sofreram corte são consideradas separadamente da projeção de crescimento. A seguir, serão apresentados diferentes métodos de projeção das tabelas de produção, por classe diamétrica:

### **Uso do incremento diamétrico médio tendo como base o centro de classe de diâmetro, e reconhecendo a dispersão dentro da classe de diâmetro.**

Mesmo quando não se conhece a distribuição dos diâmetros dentro da classe diamétrica, este método pode ser utilizado, pois considera-se que a distribuição seja uniforme. Como recrutamento, consideram-se as árvores que atingiram o diâmetro mínimo pré-estabelecido na segunda medição, e a mortalidade é obtida pela contagem, em cada classe diamétrica, das árvores ausentes no segundo inventário. A proporção de árvores que avançam para classes de diâmetros superiores é definida como razão de movimento.

### **Incremento diamétrico variável sobre o diâmetro atual**

Considera que, mesmo dentro da mesma classe de diâmetro, as árvores possuem taxas de crescimento diferentes e são distribuídas de forma irregular (ou seja, umas podem estar

no início da classe, no meio ou atingindo o fim da classe). O movimento das árvores de uma classe para outra pode ser determinado graficamente, por meio da contagem de pontos, sendo estes valores facilmente convertidos para porcentagem de movimento. Estas porcentagens são aplicadas para cada classe diamétrica, assim, através da razão de movimento é possível avaliar a evolução da estrutura da floresta. Também se considera a mortalidade e recrutamento separadamente, sendo que estes apresentam comportamento estável. Usando esta lógica, aliada a dados de incremento em diâmetro por espécie ou grupo de espécies, pode-se obter maior acuracidade ao se efetuar a prognose da estrutura diamétrica da floresta.

Braz et al. (2011) afirmaram ser possível manejar as florestas nativas visando maior produção futura, desde que se considere o incremento diferenciado por classe diamétrica.

### **Modelo de produção através da matriz de transição**

A matriz de transição, também chamada de Cadeia de Markov é um importante instrumento para viabilizar a prognose da produção em florestas nativas. Esta é feita através da estimativa da probabilidade de transição dos diâmetros entre classes diamétricas, ou seja, faz a sua projeção futura. Essas projeções não devem ser feitas para um período muito longo de tempo, pois se considera que o incremento periódico observado na medição de parcelas permanentes será idêntico no futuro. Esta propriedade do modelo é denominada transição estacionária. Outra propriedade do modelo, definida como propriedade Markoviana, considera que a projeção da estrutura da floresta depende de seu estado atual, não sofrendo influência das características passadas da floresta. O recrutamento e a mortalidade são quantificados por ocasião da remedição. Geralmente são identificadas, de acordo com o tempo de medição, fases em que ocorre maior mortalidade, o que

resulta em abertura de clareiras e possibilita assim um maior recrutamento. Isto ocorre até o ponto em que o aumento em área basal seja tanto que com a maior concorrência ocorra novamente uma maior mortalidade, e assim sucessivamente. Quando após várias prognoses o número de árvores nas diferentes classes diamétricas permanece constante, pode-se inferir que a floresta está em clímax, pois a quantidade de mortalidade e recrutamento não causam mudanças significativas na estrutura da floresta. Este estado é denominado equilíbrio da floresta ou estado estável. Outro caso possível de ocorrer é o chamado estado absorvente, que acontece quando a probabilidade de transição de uma classe diamétrica para outra é zero e a probabilidade de um indivíduo permanecer na mesma classe é igual a 1. Com isso, a prognose da frequência nas classes anteriores não ultrapassa a classe que apresenta o estado absorvente. Assim, ocorre acréscimo contínuo de árvores nesta classe. Teixeira et al. (2007), em estudo realizado em florestas naturais da região de Manaus, concluíram que a Cadeia de Markov se mostrou um ótimo instrumento para projeção de frequência da distribuição diamétrica, do recrutamento e mortalidade.

### **Modelo de Adans e ER**

Este modelo considera três fatores: o recrutamento, a passagem de diâmetro de uma classe diamétrica para outra e a mortalidade. Para que o modelo apresente estimativas satisfatórias é fundamental a percepção de que as colheitas no final de um período implicam mudanças no crescimento das árvores remanescentes. Assim, as intervenções a serem feitas na população devem ser consideradas no modelo.

### **Método de Condit, Hubber e Foster**

Esse método foi desenvolvido para estimativa de curvas de crescimento. Devem ser consideradas as taxas de mortalidade e recrutamento, além das taxas de acréscimos e decréscimos

baseados na área basal, e a mudança do número de indivíduos nas classes de diâmetro.

Primeiramente, determina-se a taxa de crescimento por meio do incremento anual obtido em medições sucessivas em determinado período de tempo para as diferentes classes diamétricas. Para esse cálculo utiliza-se o método de movimentação de diâmetros juntamente com a análise de regressão, tratando as curvas de crescimento como uma equação diferencial. A análise de regressão, além de eliminar as flutuações irregulares de crescimento em amostras menores, possibilita a determinação da taxa de crescimento por classe diamétrica onde não há dados.

O segundo passo dessa metodologia é o ajuste de equações quadráticas para o cálculo do incremento médio e do crescimento acelerado (média + desvio padrão). As curvas de crescimento são elaboradas em duas etapas: primeiro, ajusta-se a regressão quadrática para as taxas de crescimento em função dos diâmetros logaritmizados, depois é feita uma segunda regressão para o crescimento acelerado e para isso adiciona-se a cada observação individual o valor absoluto de seu resíduo em relação a primeira equação. Após, ajusta-se uma nova regressão quadrática relacionando o crescimento acelerado ao DAP. Os parâmetros obtidos para as duas equações são utilizados para obtenção da trajetória de diâmetro para o incremento médio e crescimento acelerado a partir de um limite inferior de DAP. Isso fornece estimativas do tempo necessário para os indivíduos crescerem do limite inferior de DAP até qualquer DAP.

Com base na trajetória do DAP, simula-se o crescimento futuro e o potencial de colheita, porém, para realizar a prognose necessita-se de uma equação que forneça o diâmetro futuro partindo de uma idade inicial. Assim, foram desenvolvidas equações inversas das equações citadas acima.

Como o método original consiste num modelo parabólico, dependendo do banco de dados, o modelo pode gerar taxas de crescimento negativas, o que é incoerente do ponto de vista biológico. Assim, foram propostas duas opções de modificações do modelo: a primeira sugere um modelo exponencial negativa, onde a variável dependente é a taxa de crescimento e a independente é o logaritmo neperiano do DAP, a segunda consiste num modelo exponencial negativo onde a variável independente é o DAP.

A distribuição exponencial é bastante adequada às florestas naturais, pois permite a geração de modelos matemáticos usados como base em planos de manejo aplicando-se o conceito de floresta balanceada, adequado à estrutura deste tipo de floresta. Os principais modelos são o de Mervart, que é muito rígido, mas pode ser ajustado com sucesso, dependendo da base de dados; o de Pierlot, que consiste num modelo hiperbólico em que se procura prender o ajuste da distribuição ao conjunto de dados numa tentativa de ajustar os demais e o modelo de Meyer. Os primeiros estudos sobre distribuição decrescente foram realizados pelo francês De Liocurt. Ele identificou que o número de árvores entre as classes de diâmetro apresentavam uma razão constante, denominada quociente de De Liocurt. Na década de 1930, Meyer introduziu o termo floresta balanceada para expressar o comportamento descrito por De Liocurt, porém, com as variações no comportamento é frequência/classe diamétrica para florestas multiâneas, Meyer propôs dois modelos: o modelo tipo I e o modelo tipo II.

Barros et al. (1979) testaram 7 modelos de distribuição exponencial, sendo os melhores os modelos logaritmizados de Meyer tipo I e Golf & West, e o modelo não logarítmico Beta.

## Referências

BARROS, P. L. C.; MACHADO, S. A.; BURGER, D.; SIQUEIRA, J. D. P. Comparação de modelos descritivos da distribuição diamétrica em uma floresta tropical. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 10, n. 2, 1979.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. de; FIGUEIREDO, E. O.; RIBAS, L. A. Otimização da distribuição diamétrica remanescente da espécie *Cedrela odorata* no estado do Acre, visando o novo ciclo. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 5., 2011, Santa Maria, RS. **Sustentabilidade florestal**: [anais]. Santa Maria, RS: UFSM, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2011, p. 186-193.

TEIXEIRA, L. M.; CHAMBERS, J. Q.; SILVA, A. R. e; LIMA, A. J. N.; CARNEIRO, V. M. C.; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 377-384, 2007.

## Taxa de corte sustentada em Floresta Ombrófila Densa

### Pollyni Ricken

Engenheira florestal, mestranda, Universidade do Estado de Santa Catarina, pollyni7@hotmail.com

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 2010. 237 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria RS.

O manejo de uma propriedade florestal objetivando atingir um rendimento sustentado implica na organização das atividades de manejo com o propósito de obter um balanço aproximado entre o crescimento líquido da floresta e o volume explorado de madeira, no mais curto espaço de tempo, de maneira contínua anual ou periodicamente.

A taxa de extração da floresta deve ser sustentável, e essa questão é sempre negligenciada nos planos de manejo, nos quais têm sido definidos valores arbitrários de extração.

A regulação da produção é o conjunto de procedimentos que permite determinar as dimensões, a quantidade, a localização e o volume de madeira que podem ser explorados em uma floresta de maneira sustentável. Uma floresta regulada é aquela em que classes de idade, como classes de diâmetro, estão crescendo segundo determinadas taxas e são representadas em proporções tais que uma produção aproximadamente igual de madeira, anual ou periódica, segundo as dimensões e qualidades desejadas, pode ser obtida de forma contínua, regular e perpétua.

O procedimento utilizado por madeireiros, o qual envolve cortes seletivos em florestas nativas acima de diâmetros especificados, é o método mais próximo de um hipotético “manejo”. Essa prática de remoção mecanizada e exploratória apresentou uma

evolução até a década de 1970. No entanto, não assumia um compromisso com nenhuma forma de sustentabilidade da floresta. Para o manejo de florestas nativas o uso do corte seletivo combinado a tratamentos silviculturais, cortes de regulação e abate, permite manter a cobertura vegetal contínua, ou seja, controlando o crescimento e desenvolvimento de árvores em todas as classes de diâmetro. O sistema de corte seletivo aumenta a proporção das espécies de interesse na área, através do processo de regeneração dirigida, conduzindo-as para uma produção sustentável e ecologicamente viável.

Um sistema silvicultural abrange todas as operações culturais que são aplicadas a uma floresta com objetivos de regeneração das espécies desejadas. Assim, esse sistema está correlacionado com as espécies, com o meio físico e com os objetivos do manejo florestal.

Em nível ecológico e de sucessão, as clareiras têm um papel importante quando se planeja o manejo florestal. Elas podem ser classificadas em primária e secundária. A primária seria a colonização, e a secundária seria o povoamento onde antes houve população natural. A sucessão está relacionada ao tamanho da clareira, à entrada de luz até o solo, ao banco de sementes e ao potencial vegetativo das espécies. Diferentes tamanhos de clareiras abertas pela queda das árvores resultam em diferenças na composição das espécies no próximo ciclo.

Os tratamentos silviculturais devem ser implementados quando se notarem declínios no incremento, devendo se valer dos critérios da exploração de impacto reduzido, mas não serem substituídos por eles. Além dos tratamentos silviculturais, o cuidado no planejamento e técnicas de abate e extração das toras da floresta são considerados extremamente importantes para a garantia da “sustentabilidade” produtiva da floresta tropical. O planejamento de extração é importante e é

considerado o primeiro tratamento da floresta manejada. A execução do manejo propriamente dito consiste na realização de cortes de limpeza, condução e colheita de árvores, visando alcançar os objetivos da produção estabelecidos no plano de manejo.

Uma das limitações atuais relacionadas ao manejo das florestas naturais tropicais é de que as prescrições, quando ocorrem, mesmo em pesquisa, consideram a floresta de forma homogênea, indicando rebaixamento em área basal de forma uniforme. Essas prescrições deveriam ser precisas, buscando árvore a árvore para garantir suas melhores condições de desenvolvimento.

O objetivo principal do engenheiro florestal é transformar a estrutura irregular de um povoamento em uma estrutura regulada ou balanceada. A regulação de um povoamento florestal inequiâneo (que possui árvores de várias idades) passa pela avaliação do estoque de crescimento e da estrutura do estoque remanescente e pela definição de um valor máximo para o DAP, no futuro. A forma padrão para distribuição diamétrica para povoamentos florestais heterocíclicos inequiâneos é de “J” invertido, na qual o número de árvores decresce na direção das classes de maior diâmetro.

A curva “J” invertido, definida pelo quociente de Liocourt, pode descrever adequadamente a distribuição das diferentes classes de fustes em floresta tropical. Nesse sentido, a proposta de Liocourt consistiu em descrever as características de uma floresta normal a partir do estudo dos melhores povoamentos irregulares, constatando que havia proporcionalidade entre o número de árvores em classes sucessivas, ou seja, que a frequência por classe decrescia em progressão geométrica e, fundamentalmente, que esse decréscimo era constante. Nesse caso, espera-se que árvores que atualmente estejam em determinada classe de diâmetro futuramente “ingressarem” em classes superiores, morram ou estagnem nas classes atuais.

Os povoamentos naturais podem classificar-se em positivos, neutros e negativos, de acordo como o número de árvores por classe de diâmetro e se relaciona com a curva de Liocourt. Os povoamentos positivos têm excesso de árvores pequenas (excedem o número das classes maiores) que se regeneram de maneira natural. Os negativos têm falta (acontece o inverso) e necessitam técnicas de regeneração. Essas informações reforçam a importância dos tratamentos silviculturais no manejo das florestas naturais, do conhecimento da estrutura para prescrições de taxa de corte e da possibilidade de inferências futuras de posse desses conhecimentos.

A razão constante do quociente de Liocourt “ $q$ ” em florestas naturais indicaria equilíbrio no balanço entre mortalidade e recrutamento, havendo balanceamento na floresta. Na prática, a maioria das florestas não se apresenta perfeitamente balanceada, mas apenas possui uma tendência a convergir para esse padrão. O seu valor depende da distribuição dos diâmetros dentro da parte regulada da distribuição diamétrica. Quanto maior o “ $q$ ”, maior será o número de árvores de pequeno porte na floresta e menor o de árvores de grande porte incluídas na distribuição. Em termos de manejo, isso indica que podem estar disponíveis para corte as classes maiores.

A escolha da área basal remanescente apropriada é importante do ponto de vista do aproveitamento do sítio e da promoção da regeneração do corte. Essa escolha depende muito da autoecologia das espécies principais em relação a sua condição de tolerante ou intolerante.

O incremento desses povoamentos naturais é a chave do manejo sob o método de seleção. Assim, o corte deve ser igual ao incremento e em uma floresta cujas densidades sejam diferentes da normal, o corte deverá ser ajustado, para que pouco a pouco se obtenha a densidade desejada.

Um dos grandes problemas do manejo é quanto pode ser extraído da floresta de maneira sustentável. Até pouco tempo atrás não havia legislação sobre o tema, definindo o quanto seria possível extrair da floresta com garantia de que ela se regenerasse, total ou parcialmente, após alguns anos do corte. O conceito de “manejo de florestas” não estará completo em qualquer plano de manejo se este não contiver uma projeção futura sobre as espécies de interesse, a estrutura da floresta e o volume no próximo ciclo. Do ponto de vista da legislação, a questão tende a ser tratada de maneira simplificada, buscando facilitar o trabalho do produtor e também do fiscalizador.

Braz (2010) utilizou o agrupamento de espécies de crescimento semelhante para determinação da taxa de corte sustentável, avaliando o IPA percentual em volume para cada grupo. A estrutura florestal foi ajustada pelo sistema do método de área basal - máximo dap-q (BDq), considerando a área basal remanescente desejada como a subtração do volume total da floresta menos o volume que poderia crescer no ciclo considerado, transformado em área basal para poder entrar no modelo. Os ajustes dos cálculos foram compatíveis, inclusive, a relação entre área basal a ser mantida e o volume comercial de madeira correspondente. O sistema BDq mostrou flexibilidade na compatibilização com a taxa de corte sustentável.

**Embrapa**

---

**Florestas**

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 10984