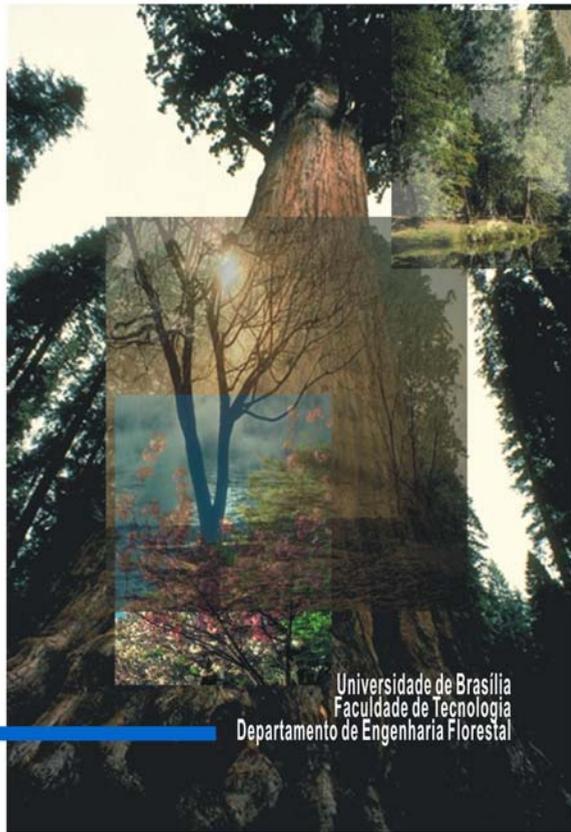


ISSN 1517-1922

COMUNICAÇÕES TÉCNICAS FLORESTAIS

IDADE E CRESCIMENTO DAS ÁRVORES




UnB

Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

ISSN 1517-1922

IDADE E CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

**José Imaña Encinas
Gilson Fernandes da Silva
José Roberto Rodrigues Pinto**

Comunicações Técnicas Florestais

v.7, n.1

Brasília, dezembro de 2005

A série **Comunicações Técnicas Florestais** é publicada pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, visando divulgar trabalhos originais de pesquisa e extensão de todas as áreas da Ciência Florestal.

Os textos são de exclusiva responsabilidade dos respectivos autores. O total ou parte do texto poderá ser reproduzido desde que seja citado o autor e o fascículo desta série como fonte de origem

Comunicações Técnicas Florestais
Departamento de Engenharia Florestal
Universidade de Brasília
Caixa Postal 04357
70919-970 Brasília, DF – Brasil
Fax: 061 – 3347.0631

Projeto gráfico da capa: Ivanise Oliveira de Brito

Ficha Catalográfica

elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília

Imaña Encinas, José
Idade e crescimento das árvores / José Imaña-Encinas,
I31 Gilson Fernandes da Silva, José Roberto Rodrigues Pinto. –
Brasília: Universidade de Brasília. Departamento de
Engenharia Florestal, 2005.
43p. : il. – (Comunicações técnicas florestais; ISSN 1517-1922;
v.7, n.1).

1. Mensuração florestal. 2. Dendrometria. 3. Epidometria.
4. Engenharia florestal medição. I. Silva, Gilson Fernandes
da. II. Pinto, José Roberto Rodrigues. III. Título. IV Série

CDU – 634.0.5

Tabela de Conteúdo

	Página
1 Idade	01
2 Estimação da idade	03
2.1 Por observação	03
2.2 Contagem dos verticilos	04
2.3 Contagem dos anéis de crescimento	06
2.3.1 Trado de Pressler	09
2.4 Análise de tronco	12
2.4.1 Análise de tronco parcial	15
2.4.2 Análise completa de tronco (árvore abatida)	16
3 Crescimento das árvores	19
3.1 Crescimento em altura	24
3.2 Crescimento em diâmetro	24
3.2.1 Instrumentos para medir o crescimento em diâmetro	25
3.3 Crescimento em área basal	28
3.4 Crescimento em volume	29
3.5 Crescimento relativo	30
3.6 Funções de crescimento	32
4 Predição do crescimento	33
5 Incremento	35
5.1 Incremento corrente anual	37
5.2 Incremento periódico	37
5.3 Incremento médio anual	37
5.4 Incremento periódico anual	38
5.5 Análise de crescimento e dos Incrementos	39
Referências bibliográficas	42

1. Idade

A idade de qualquer organismo vivo é o período de vida que ele tem, considerado desde a sua origem ou surgimento até um ponto determinado no tempo. Souza (1973) define a idade da árvore como o número de anos transcorridos desde a germinação da semente, ou da brotação das touças de uma raiz, até o momento em que é observado ou medido. Genericamente o estudo da idade e crescimento da árvore, das florestas, e suas implicações são tratados pela epidometria (Mackay, 1964).

A idade de uma floresta ou povoamento florestal torna-se um conceito vago, pois nem todas as árvores que as compõe iniciam o seu crescimento ao mesmo tempo. Nesse sentido, emprega-se a idade média das árvores como maneira de aproximação. Porém para as práticas de manejo florestal, se faz necessário que as florestas nativas e os reflorestamentos possam ser caracterizados por uma idade definida.

Chama-se de povoamentos coetâneos ou maciços florestais equitâneos ou equiâneos, quando as árvores neles existentes são da mesma idade. Normalmente os plantios de reflorestamentos pertencem a essa categoria. Florestas nativas são geralmente maciços multiâneos, também chamadas de idades múltiplas e variadas. Também é encontrado na literatura o termo de idades irregulares, quando os plantios florestais ou florestas nativas apresentam árvores com diferentes idades.

Na mensuração florestal a idade de uma árvore é uma variável muito importante, especialmente na estimativa da produção florestal. Fundamentalmente é utilizada nas avaliações do crescimento e da produtividade de um sítio e nos ordenamentos florestais. A idade é também utilizada como ferramenta para práticas silviculturais, na determinação do crescimento presente e futuro da floresta e nas decisões dos planos de manejo. A idade permite, portanto:

- avaliar o incremento em termos de diâmetro, área basal, volume e altura de uma espécie em um determinado local, permitindo comparar a capacidade produtiva de diferentes locais;

- estimar o crescimento em altura das árvores dominantes nos povoamentos, para que sejam construídas curvas de índice de sítio de modo a se determinar a capacidade produtiva dos locais onde estes povoamentos estão implantados;
- definir parâmetros a serem utilizados nas práticas de manejo florestal, servindo principalmente como base comparativa entre povoamentos e decidindo metas na exploração da floresta.

A determinação da variável idade envolve freqüentemente muitas dificuldades, mesmo quando se trabalha em zonas temperadas e maior será a problemática quando se trabalha na região tropical.

No caso de plantios florestais, a maneira mais segura de conhecer a idade é registrando a data dos plantios em fichas, catálogos ou sistemas computacionais, de modo que para se obter a idade de um povoamento basta recorrer aos arquivos podendo obtê-la rapidamente e com grande precisão. No caso de florestas nativas tal procedimento não é possível, pois a floresta é normalmente composta de várias espécies e com diferentes idades. Assim, há necessidade de que o engenheiro ou técnico florestal utilize de outras técnicas para obter a idade das árvores ou da floresta.

Nas práticas dasométricas a variável idade apresenta-se em expressões desde o início da vida da árvore até a idade crítica do povoamento, nesta última fase interpretando como o período de senescência ou senilidade das árvores. Idade de rotação comercial se refere ao ano em que as árvores devem ser cortadas, seguindo princípios técnico-científicos estabelecidos nos correspondentes planos de manejo. Idade de corte, identifica quando as árvores deverão ser abatidas.

Idade de decrepitude, ou de declínio, ou de senescência, é quando as árvores mostram sinais evidentes e visíveis de redução biológica do crescimento, como resultado da diminuição das atividades fisiológicas. Idade fértil de um povoamento florestal se refere ao período de frutificação das árvores, muitas vezes este fenômeno acontece depois de prolongados intervalos de tempo, onde as árvores não produzem frutos.

O tamanho das árvores é uma função do período de tempo em que elas se desenvolveram. Sobre este período de tempo, o tamanho do indivíduo será o resultado das interações da capacidade genética inerente do crescimento e do ambiente no qual está habitando. Anualmente o período durante o qual os fatores climáticos, tais como temperatura, umidade do ar, duração e intensidade de luz, e outros fatores como a fertilidade do solo, se modificam e tornam-se elementos decisivos no crescimento das árvores.

Esse período é conhecido como estação ou época de crescimento. A estação de crescimento é conseqüentemente um exemplo de ciclos de eventos, ou seja, eventos que se repetem em certos intervalos de tempo mais ou menos contínuos.

Alterações favoráveis nas condições ambientais podem produzir períodos de crescimento estacionário/sazonal nas plantas. Muitas árvores em sua estrutura anatômica da madeira e em respostas fenológicas, no início e fim da estação de crescimento, adquirem características estruturais bem definidas e facilmente observáveis.

Deste modo, segundo a precisão que se deseja na determinação da idade de uma árvore se recorrerá a métodos diferentes, como descritos a seguir.

2. Estimação da Idade

2.1 Por observação

Pode se estimar a idade de uma árvore pelo seu tamanho ou aparência geral, através de simples análise visual. Este método requer muita experiência e prática, além do mensurador estar completamente familiarizado com o comportamento silvicultural da espécie e o ambiente onde a árvore está se desenvolvendo. Envolve, portanto, um profundo conhecimento do ritmo de crescimento das espécies existentes na área. Além do que baseia-se normalmente no histórico da floresta e em características morfológicas das espécies, como o alisamento e mudança de coloração da casca. Considerando estas suposições, o método é muito inexato. É utilizado geralmente para agrupar árvores em classes de idade, por exemplo em intervalos de 10, 15, 20 anos e assim por diante.

Este método pode ser utilizado quando se trata de classificar as árvores silviculturalmente, considerando a possibilidade de identificação dos indivíduos para ingresso no respectivo plano de manejo. Nesse sentido as árvores poderão ser classificadas em brinzal, latizal e fustal.

Brinzal é o indivíduo que tem mais de 2 metros de altura, porém ainda não leva consigo o diâmetro mínimo estabelecido. Latizal refere-se a árvore que pode ser cortada para a finalidade pré-definida no plano de manejo, porém após certos tratamentos silviculturais pode atingir dimensões maiores, tornando-a economicamente mais rentável. Fustal é a árvore que deve ingressar obrigatoriamente nos planos de manejo e de corte, uma vez que seu crescimento atingiu os maiores índices de produção madeireira.

Deve-se lembrar que em um povoamento multiâneo, por exemplo, existem árvores dominantes (aquelas que ocupam o estrato superior do dossel da floresta) e dominadas (aquelas que estão posicionadas no sub-bosque da floresta). Os tamanhos e a forma das árvores sempre estarão afetados e dependentes das características do sítio e das condições em que estão se desenvolvendo. Assim, árvores da mesma espécie e com a mesma idade poderão apresentar diferenças marcantes nas suas variáveis dendrométricas. Nesse sentido uma das finalidades da silvicultura é tentar orientar e otimizar o crescimento das árvores, através da manipulação dos efeitos do sítio, principalmente da intensidade de luz disponível para o crescimento correspondente.

2.2 Contagem dos verticilos

Algumas árvores, como os Pinheiros (assim como várias outras espécies de coníferas) apresentam uma forma típica de crescimento que na botânica denomina-se de crescimento monopodial (um ápice só, definido pela gema apical). Quando deixa de existir a predominância de crescimento da gema apical, entram em atividade as gemas subjacentes, que dão origem aos diversos ramos formando o crescimento simpodial (Figura 1), na maioria das árvores tropicais.



Figura 1. Formas de crescimento das árvores em função da gema apical

Muitas árvores da espécie *Pinus* spp. formam em pontos do fuste uma estrutura em forma de nó, onde nascem ramos ou galhos laterais, formando anualmente os verticilos. Explica-se este fenômeno, no sentido que, no fim de cada época de reprodução vegetativa a árvore forma na ponta do seu último broto a gema apical. No início da próxima época de crescimento vegetativo desta gema, continua crescendo a gema apical como novo broto e em sua base forma os verticilos.

Contando o número de verticilos, pode-se estimar a idade da árvore, associando o número de verticilos à idade do indivíduo em anos. Só em algumas espécies florestais, o número de verticilos ao longo do tronco corresponde exatamente à idade da árvore. As espécies que apresentam essa característica, normalmente crescem em climas temperados. No Brasil a espécie que cresce com esse hábito é a *Araucaria angustifolia* (Bert.) Kuntze (Pinheiro do Paraná) (Figura 2).

Um inconveniente nesta metodologia de determinação da idade é a tendência dos verticilos inferiores caírem com o avanço do tempo, podendo dificultar a determinação da respectiva idade.



Figura 2. Pinheiro Preto de 11 anos de idade (esquerda) e Pinheiro do Paraná de 12 anos de idade (direita)

Para utilizar este método, é indispensável conhecer bem o hábito de ramificação da espécie. Pode acontecer de que algumas espécies ou árvores individuais em sítios específicos, formem além do verticilo anual mais um ou dois verticilos por ano, ou formem os verticilos em períodos superiores a um ano.

Medindo a distância entre dois verticilos, pode-se também determinar o correspondente crescimento em altura. Neste caso, a distância entre os verticilos poderá corresponder ao incremento em altura de um ano para o outro.

Contudo, o método de determinação da idade das árvores ou da floresta por meio da contagem dos verticilos em áreas tropicais e sub-tropicais é pouco utilizado.

2.3 Contagem dos anéis de crescimento

Os anéis de crescimento resultam da deposição sucessiva de camadas de tecidos lenhosos no fuste, em razão da atividade cambial periódica. Assim, a atividade do câmbio vai acrescentando ano a ano camadas justapostas que irão estruturar o material lenhoso, formando os anéis de crescimento.

O anel de crescimento está composto de duas camadas, a primeira de tonalidade mais clara, que é chamada de lenho inicial ou

primaveril, e a segunda, de tonalidade mais escura, chamada de lenho tardio ou secundário.

Esses anéis de crescimento são consequentemente resultantes da atividade cambial da árvore em dois períodos: a vegetativa e a relativa ao repouso fisiológico da espécie, equivalente ao período de estresse fisiológico, ou seja, inadequado ao crescimento.

Em locais onde existem claramente períodos específicos de verão e inverno, ou de chuvas e secas, o crescimento das árvores está condicionado a essas características, períodos onde comparativamente elas crescem mais e períodos onde o crescimento é mínimo, e em muitos casos é nulo. Essa diferença de crescimento entre os tecidos do lenho inicial e lenho tardio, representados nas camadas justapostas, produz nitidamente áreas concêntricas, que são chamadas de anéis de crescimento (Figura 3).

A formação dos anéis de crescimento requer consequentemente a existência de um período de estresse fisiológico durante o ano, o que se associa a climas temperados, ou seja, nesse tipo de clima a formação dos anéis fica bem definida.



Figura 3. Anéis de crescimento em um indivíduo de *Pinus silvestris* L.

As espécies tropicais e sub-tropicais normalmente não apresentam o contraste entre o lenho inicial e o lenho tardio, uma vez que em climas tropicais e sub-tropicais não há uma perfeita diferenciação entre as estações de crescimento em função da estiagem. Deste modo, este método ainda precisa de muitos resultados de pesquisa para poder ser utilizado com precisão em climas tropicais e sub-tropicais

Para espécies de clima temperado, como as coníferas por exemplo, o método é bem preciso e tem grande uso prático. Porém, é possível ocorrer a formação de falsos anéis, produzidos em consequência de sucessivos períodos curtos de seca e chuvas, ataque de insetos, doenças, geadas e outros fatores, resultando em mais de um ciclo de crescimento durante o período de um ano.

A contagem dos anéis de crescimento realizada na base do tronco indicará com maior precisão a idade do indivíduo observado. Na parte superior do tronco existirá evidentemente menor número de anéis, uma vez que todas as camadas de formação do lenho se acumulam na parte inferior do fuste.

Em árvores abatidas, os anéis de crescimento podem ser observados nos discos ou cortes transversais da tora (Figura 3). Em árvores em pé as amostras são obtidas através do Trado de Pressler (Figura 4).



Figura 4. Amostras de madeiras extraídas pelo Trado de Pressler

Para facilitar a contagem dos anéis de crescimento são utilizados lentes, corantes, luz, álcool, gasolina, raios ultravioletas, polidez da superfície e leve queimadura da superfície dos discos amostrais.

A determinação da idade das árvores em espécies tropicais através da contagem dos anéis de crescimento é uma tarefa muito mais complicada, devido às poucas informações existentes. Nesse sentido pode-se considerar que:

- a) nem todas as espécies caducifólias formam anéis de crescimento;
- b) algumas espécies sempre verdes formam estruturas muito similares aos anéis, conhecidas como zonas de crescimento;
- c) algumas espécies mantêm o ciclo de crescimento estritamente influenciado pelas chuvas; e
- d) apresentam uma descontinuidade da estrutura colorida. Assim, nos trópicos, a determinação da idade das árvores constitui um dos problemas ainda a serem solucionados pela ciência florestal.

2.3.1 Trado de Pressler

Este instrumento de origem sueca ("increment borer") serve para extrair amostras cilíndricas do lenho. O instrumento consta de três componentes: o trado propriamente dito, o suporte tubular cilíndrico e a colher-estilete (Figura 5).

O Trado de Pressler é um instrumento muito empregado para obter amostras que permitem a contagem dos anéis de crescimento em árvores em pé. Para extrair uma amostra de madeira deve-se primeiro introduzir o trado no tronco, perpendicularmente ao eixo vertical da árvore (em direção à medula) e, logo em seguida, com o extrator, tira-se a amostra de madeira, também denominada de rolo de incremento.



Figura 5. Componentes do Trado de Pressler

Várias tentativas aplicando teorias e fórmulas matemáticas foram desenvolvidas para a determinação da idade das árvores sem considerar os anéis de crescimento.

Parde (1961) apresenta uma fórmula matemática tentando dar solução a essa problemática, a mesma que foi comprovada e aplicada nos trópicos por Loján (1966).

A fórmula de Parde é:

$$\frac{dx}{dt} = g - mx^2$$

onde: dx/dt = derivada com respeito ao tempo do incremento
 g = primeiro fator, que permitiu o crescimento
 x = variável mediante a qual mede-se o crescimento
 m = constante

A equação pode ser transformada na seguinte fórmula de trabalho:

$$t = \frac{1}{K_2} \cdot \log e \left(\frac{K_1 + x}{K_1 - x} \right)$$

onde: t = idade em anos
 x = variável na idade t (atual)
 K₁ e K₂ = constantes

$$K_1 = \sqrt{\frac{x_2^2(x_1 + x_3) - 2 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}{2x_2 - (x_1 + x_3)}}$$

onde x₁ = diâmetro ou circunferência no 1° ano
 x₂ = diâmetro ou circunferência no 2° ano
 x₃ = diâmetro ou circunferência no 3° ano

$$K_2 = \log e \left[\left(\frac{K_1 + x_2}{K_1 - x_2} \right) \left(\frac{K_1 - x_1}{K_1 + x_1} \right) \right]$$

onde x = diâmetro ou circunferência na idade t
 log e = logaritmo natural.

Um outro processo problemático se refere a determinação da idade de florestas de idades múltiplas, por exemplo as florestas nativas.

Nessa problemática Block (Prodan, 1965) estabeleceu a seguinte relação para determinar a idade (I) da floresta:

$$I = \frac{V_1 I_1 + V_2 I_2 + \dots}{V_1 + V_2 + \dots} = \frac{\sum V_i I_i}{\sum V_i}$$

onde: V = volume em m³ correspondente as árvores na idade pertinente
 I = idade

Segundo Tischendorf (Prodan, 1965) a idade da floresta poderá se obter considerando os respectivos incrementos (i) por classes de idade:

$$I = \frac{i_1 I_1 + i_2 I_2 + \dots}{i_1 + i_2 + \dots} = \frac{\sum i_i I_i}{\sum i_i}$$

2.4 Análise de Tronco

A análise de tronco chamada também de análise do fuste, consiste na medição eqüidistante, ou não, de certo número de discos ou secções transversais do tronco de uma árvore, para determinar o crescimento e o desenvolvimento em seus diferentes períodos de vida. Essa técnica permite determinar o crescimento passado de árvores individuais (Silva e Paula Neto, 1979), graficamente demonstrado na Figura 6.

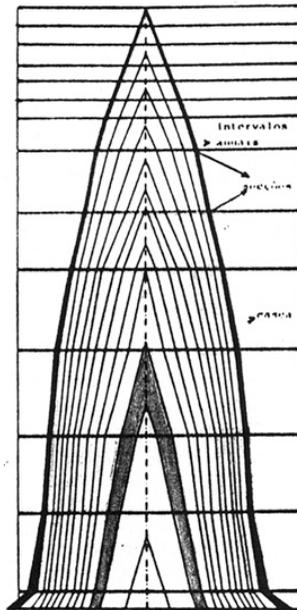


Figura 6. Corte longitudinal do fuste, reconstituído pela análise de tronco (Finger, 1992)

A produção florestal de um determinado povoamento ou floresta nativa é estimada a partir do estudo do crescimento das árvores individuais ou da floresta como um todo. Em geral, este tipo de estudo é realizado por meio de inventários florestais contínuos realizados em parcelas permanentes, em intervalos de tempo pré-determinados (normalmente de 3, 5 ou 10 anos). Assim, a análise de tronco apresenta-se como uma interessante alternativa para se

avaliar o crescimento passado de uma árvore, de forma rápida e precisa, e permite a realização de inferências sobre a produção futura da floresta.

Este método adquire importância, uma vez que em qualquer época pode-se reconstruir o passado de uma árvore, sintetizando seu comportamento desde o estágio juvenil até o momento em que é realizada a análise.

A análise de tronco é indicada para espécies que possuem anéis de crescimento facilmente observáveis, como resultado da atividade cambial das árvores durante os períodos de máxima atividade vegetativa e de períodos de redução das atividades fisiológicas (Finger, 1992). Neste caso, o procedimento para contagem dos anéis de crescimento consiste na realização de uma análise de tronco, que pode ser completa ou parcial, conforme será descrita posteriormente.

Em povoamentos equiâneos a escolha das árvores amostra será selecionada das classes dominantes e co-dominantes (árvores mais altas do povoamento), uma vez que estas proporcionam a garantia de que tiveram um crescimento provavelmente sem muita competição com as demais árvores da floresta ou povoamento, o que torna uma distribuição dos anéis de crescimento mais uniforme.

Este procedimento requer muitas vezes o abate da árvore e corte do fuste em seções com distâncias pré-definidas, chamados discos, onde é realizada a contagem dos correspondentes anéis de crescimento.

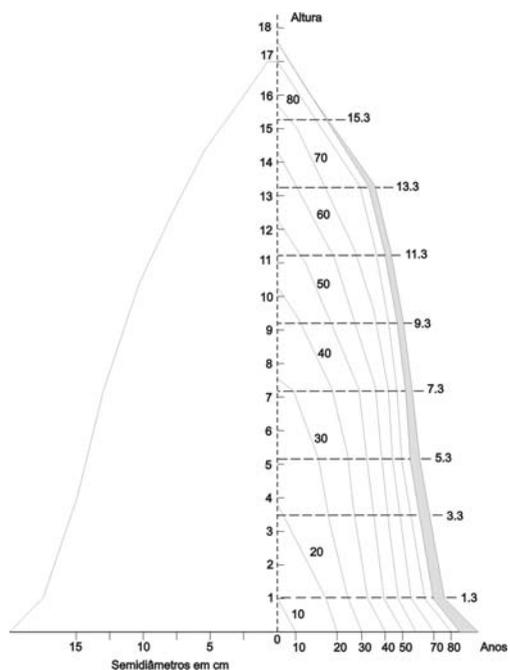
A análise de tronco além de permitir a determinação da idade da árvore, também fornece a possibilidade de conhecer o correspondente crescimento anual em diâmetro e altura e, em consequência, a área basal ou seccional e o volume de madeira produzido.

Exemplo tomado de Mackay (1964): em uma árvore de *Pinus silvestris* L. abatida, foram contados na superfície do toco 83 anéis de crescimento e sucessivamente a cada 2 metros de altura os respectivos valores indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise do tronco de uma árvore de *Pinus silvestre* L.

Variável	Altura da medição (m)									
	0,3	1,3	3,3	5,3	7,3	9,3	11,3	13,3	15,3	17,3
Número de anéis	78	72	65	60	54	48	37	28	16	0
Idade respectiva (anos)	5	11	18	23	29	35	46	55	67	83
Diâmetro da seção	29,5	25,1	21,8	19,3	18,0	16,4	14,1	11,5	6,0	c/c

A Figura 7 mostra o perfil longitudinal do fuste, em função dos dados da Tabela 1, como resultado da análise de tronco realizado em uma árvore abatida de *Pinus silvestre* L. (Mackay, 1964).



Fonte: Mackay, 1964 (p.583, modificado)

Figura 7. Análise do fuste de uma árvore de *Pinus silvestris* L.

As análises de tronco podem ser classificadas em dois tipos, a análise de tronco parcial e a análise completa de tronco, como descritas a seguir.

2.4.1 Análise de tronco parcial (árvore em pé)

Na análise de tronco parcial a árvore não precisa ser abatida, no entanto, deve ser realizada em um maior número de árvores. Os anéis de crescimento são obtidos retirando-se um pequeno cilindro de madeira na altura do DAP (a 1,30 metros de altura), por meio do instrumento de origem sueca denominado "increment borer", conhecido no Brasil como Trado de Pressler. O trado ou verrume extrai da árvore cilindros de madeira chamados rolos de incremento (Figura 4), onde são realizadas as observações e a contagem dos anéis de crescimento. As amostras devem ser acondicionadas em recipientes apropriados para evitar que ressequem e quebrem.

Em cada árvore a ser analisada podem ser extraídos uma ou duas amostras. Segundo Prodan (1965), devem ser retiradas duas amostras de cada árvore, com ângulo de 90° entre os pontos de amostragem.

Para efeito de padronização, a contagem dos anéis de crescimento deve ser feita na altura do DAP, somando-se ao final da contagem o número de anos que a espécie leva para alcançar esta altura. Conseqüentemente, a idade final da árvore será o número de anéis de crescimento contados na altura do DAP mais a idade necessária para a árvore atingir 1,30 metros de altura.

Na aplicação prática deste método, devem ser consideradas algumas restrições que poderiam apresentar as amostras extraídas, em função da excentricidade das seções, das formações irregulares dos anéis e o tamanho dos mesmos, principalmente em árvores de maior idade e de grandes dimensões. Mesmo assim, a contagem acurada permite a determinação rigorosa da idade da árvore e permite realizar estudos precisos dos correspondentes incrementos.

Uma dificuldade apresentada por essa técnica reside na natureza do lenho, existindo espécies cujo grau de dureza de suas madeiras é tão alto que impossibilita a coleta de amostras do fuste através do uso do trado.

2.4.2 Análise completa de tronco (árvore abatida)

A capacidade produtiva de um determinado sítio pode ser determinada por inventários florestais contínuos, através de unidades amostrais permanentes, como já mencionado. Contudo, este procedimento demanda um longo período de monitoramento e é operacionalmente mais trabalhoso e oneroso.

A análise de tronco completa aparece então como uma alternativa, pois em qualquer época pode-se reconstituir plenamente o desenvolvimento de uma árvore em termos de crescimentos passados, desde sua fase jovem até a idade da análise. Para tal a árvore deve ser abatida. Esta análise consiste em avaliar, além da idade da árvore os crescimentos em volume, em área basal, em diâmetro e em altura.

a) **Seleção das árvores-amostra:** para o estudo e classificação do sítio, devem ser escolhidas preferencialmente árvores dos estratos dominantes e co-dominantes (indivíduos livres de competição).

Para a estimação dos valores médios da população serão escolhidas as árvores que possuam o diâmetro de área basal média. A amostra deve conter árvores de diversos sítios, de diferentes idades e todas as classes sociológicas ou de tamanho.

b) **Seccionamento da árvore:** para o seccionamento das árvores, deve-se adotar um esquema semelhante ao utilizado para a realização da cubagem rigorosa. Deve se procurar abranger o máximo de variação possível, levando-se em consideração o custo do processo e os aspectos operacionais.

Escolhida a árvore amostra esta será abatida e retirado dela discos (seções transversais do tronco), a começar pela extremidade da base, ao redor da altura de 0,10 cm, aproximadamente, até o ápice do fuste (Figura 7).

Na realização de estudos detalhados um número maior de discos deverá ser retirado da seção inferior (1ª seção), coletando discos a 0,50 ou 0,70, a 1,0 e a 1,30 metros de altura. A partir da altura do DAP, a árvore deverá ser seccionada de um em um metro, ou de

dois em dois metros. A espessura dos discos deverá variar de 3 a 5 cm, considerando que discos finos racham com facilidade e discos grossos demoram a secar.

Além da identificação dos discos deve-se conhecer o número de identificação da árvore, o sítio e a posição de onde foram retirados os discos.

c) **Secagem**: após a retirada dos discos, esses deverão passar pelo processo da secagem e, posteriormente, de lixamento.

A secagem deve ser feita em locais bem arejados e à sombra, com os discos em pé para melhor aeração. O processo de secagem estará concluído quando o teor de umidade dos discos estiver em equilíbrio com a umidade do ar.

No caso do uso de estufa, o tempo de secagem poderá ser reduzido significativamente. Três a cinco dias em estufa ventilada, a temperaturas em torno de 40 a 50°C, são plenamente suficientes para secagem dos discos. A secagem estará concluída quando os discos apresentarem pesos constantes, ou seja, não mais ocorrer perda de água.

Após a secagem, os discos deverão ser lixados de modo a tornar os anéis de crescimento mais visíveis e facilitar a contagem e correspondente medição.

d) **Marcação dos raios de medição**: para se medir a espessura dos anéis de crescimento são traçados raios no sentido da medula para a borda do disco.

Recomenda-se o traçado de quatro raios perpendicularmente dispostos. A estimativa da espessura dos anéis de crescimento obtida pela média aritmética dos quatro raios será evidentemente mais representativa.

Em espécies onde os anéis de crescimento não são nítidos, pode-se utilizar produtos químicos (fuccina, azul de metileno etc.) para melhorar a visualização dos mesmos.

e) **Medição dos anéis**: a medição da dimensão acumulada dos anéis é feita sobre os raios traçados, considerando-se que a medula é o ponto zero.

Para a medição, podem ser usados réguas e aparelhos óticos (lupas) ou aparelhos específicos construídos para essa finalidade, existentes no mercado florestal nas regiões temperadas.

f) **Traçado do perfil longitudinal da árvore:** contam-se e medem-se os anéis de crescimento nas seções transversais do tronco obtidas em diferentes alturas e em distâncias regulares.

A partir do traçado longitudinal é possível fazer a cubagem da árvore em todos os períodos de crescimento. No traçado do perfil da árvore (Figura 6) e para os cálculos a serem realizados, deve-se anotar o número dos anéis e também o correspondente diâmetro. Recomenda-se calcular a média de duas leituras de posições perpendiculares, a fim de melhorar a precisão da avaliação.

A partir desses dados, passa-se a desenhar o perfil longitudinal da árvore, de onde pode-se estimar sua idade, altura, diâmetro, áreas basal e transversais, e volume.

Na construção do perfil longitudinal observam-se os dados e transferem-se para papel milimetrado, sobre o qual marca-se um sistema de eixos coordenados. No eixo y deve-se considerar como sendo a medula da árvore, sobre o qual se marcarão as alturas onde foram retirados os discos até a altura total. Sobre a abscissa, eixo x, marca-se o raio médio de cada anel à esquerda e à direita do eixo y, constituindo assim, seu diâmetro. O mesmo procedimento deve ser repetido para todos os discos retirados.

Após a marcação dos diâmetros em cada nível de altura, procede-se com a união dos pontos correspondentes ao desenho de cada anel no eixo da árvore. A união dos pontos será efetuada de dentro para fora (da casca para a medula), formando assim o gráfico da análise de tronco (Figura 6).

Quando a casca é medida, a união dos pontos mais extremos corresponde à parte externa da casca. A determinação do ponto em que se termina, deve ser feita tomando-se uma paralela do anel imediatamente seguinte no intervalo considerado, de tal forma que o anel deve-se encontrar com a medula com o mesmo ângulo do anel seguinte.

Completando o traçado do perfil da árvore com a determinação do ponto exato de término de cada anel, pode-se ler, no gráfico, a altura de cada anel, que corresponderá à altura alcançada pela árvore em cada ano (Smidt, s.d.).

A seguir apresentam-se, como exemplo, os resultados de uma análise completa de tronco (Tabela 2), tomado de Prodan (1965):

Tabela 2. Análise completa do tronco

Idade	DAP (cm)	Id (cm)	g (m ²)	Ig (m ²)	H (m)	Ih (m)	V (m ³)	Iv (m ³)
0	0				0		0	
10	1,44	1,44	0,0002	0,0002	2,0	2,0	0,0008	0,0008
20	6,96	5,52	0,0038	0,0036	6,3	4,3	0,0113	0,0105
30	11,54	4,58	0,0105	0,0067	10,9	4,6	0,0522	0,0409
40	16,08	4,54	0,0203	0,0098	15,6	4,7	0,1637	0,1135
50	19,79	3,71	0,0308	0,0105	20,3	4,7	0,3415	0,1738
60	23,83	4,04	0,0446	0,0138	23,6	3,3	0,5814	0,2399
70	27,14	3,31	0,0578	0,0132	26,3	2,7	0,8480	0,2666
80	30,36	3,22	0,0724	0,0146	29,3	3,0	1,1450	0,2970
90	33,28	2,92	0,0870	0,0146	30,5	1,2	1,4455	0,3005
100	35,81	2,53	0,1007	0,0137	32,1	1,6	1,7130	0,2675
103	36,79	0,98	0,01063	0,0056	32,4	0,3	1,8070	0,0940
	37,97		0,1132		32,4		1,9354	

Fonte: Prodan, 1965 (p. 439)

DAP = diâmetro à altura do peito (1,30m), Id = incremento em diâmetro, g = área basal, Ig = incremento em área basal, H = altura, Ih = incremento em altura, V = volume, Iv = incremento em volume

3. Crescimento das árvores

O crescimento pode ser definido como uma mudança de magnitude de qualquer característica mensurável, como diâmetro, altura, volume, peso, biomassa, etc. O crescimento de árvores individuais pode ser entendido como o somatório da divisão, alongamento e engrossamento de suas células.

As leis do crescimento biológico exigem uma quantidade variada de atenção crítica e perdem em precisão e significância à medida que o período de tempo sobre o qual elas são aplicadas diminui. Em seu estudo, o autor enuncia as cinco leis do crescimento biológico,

ressaltando que as mesmas se referem ao crescimento de organismos individuais:

1ª Lei: o tamanho é uma função monotônica crescente da idade.

Numa expressão menos formal, isso significa que organismos não decrescem em tamanho quando ficam mais velhos. Uma afirmativa mais casual tal como: "os organismos aumentam em tamanho à medida que eles aumentam em idade" seria muito menos satisfatória, pois contraria o fato de que, no curso do seu desenvolvimento, os organismos se aproximam de um tamanho limite. É plausível supor que isso ocorra, considerando-se que a maioria das funções comumente utilizadas para descrever o curso do crescimento são funções com valores limites. Porém, é importante não excluir a possibilidade de que os organismos alcancem um tamanho máximo em que eles permaneçam virtualmente estacionários durante a parte mais tardia de suas vidas.

2ª Lei: os resultados do crescimento biológico são, por si só, tipicamente capazes de crescer.

O crescimento biológico é fundamentalmente do tipo multiplicativo. Esta é a única "lei do crescimento" comumente reconhecida como tal. Isto justifica o uso quase universal da

diferencial relativa $\frac{dw}{dt \cdot W} = \frac{d}{dt} \cdot [\log_e(w)]$ como uma das mais

prováveis em expressar, de modo significativo, mudanças de tamanho. A estimativa que esta expressão provém é a da taxa de crescimento específico ou taxa relativa de crescimento. O caso especial de crescimento pela lei do interesse composto corresponde a uma taxa de crescimento uniforme específica.

3ª Lei: em um ambiente constante, o crescimento ocorre com velocidade constante, uniforme e específica.

A constância que a lei requer não é apenas do ambiente externo mais do interno também. Do lado externo, o trabalho deve ser feito sobre um sistema de crescimento se o ambiente permanece constante, e desde que o meio interno dos organismos complexos não são acessíveis ao tipo de controle experimental que é exigido. Apenas em culturas de tecidos e em populações de organismos não

celulares que podem ser induzidos a crescer logaritmicamente por uma extensão de tempo significativa.

4ª Lei: sob as atuais condições de desenvolvimento, a aceleração específica de crescimento é sempre negativa.

Enquanto a taxa de crescimento pode elevar-se e então cair, como ocorre em qualquer organismo, o crescimento é descrito por uma curva sigmóide e a taxa específica de crescimento sempre cai. Há poucas, se alguma, exceção para esta regra geral. Simplificando, isto significa que "aqueles resultados do crescimento biológico, embora capazes de crescer, não são capazes de crescer tão rápido quanto seus precursores". Portanto, a senescência é um processo que acontece continuamente ao longo da vida.

5ª Lei: a taxa específica de crescimento declina mais e mais lentamente a medida que o organismo aumenta em idade:

A aceleração específica do crescimento $\frac{d}{dt} \left[\frac{dw}{dt \cdot W} \right]$, enquanto

sempre negativa, caminha progressivamente para zero durante o curso da vida. De modo breve, "organismos envelhecem mais rápido quando eles são jovens" ou, ainda, "organismos envelhecem mais lentamente quando eles ficam mais velhos". A taxa em que a taxa específica de crescimento declina é um importante parâmetro em qualquer equação de crescimento, e seu valor pode, em certas circunstâncias, ser medido por meios experimentais.

Conseqüentemente entende-se por crescimento de uma árvore o aumento gradual do valor das variáveis que dela se mede. Segundo Scolforo (1994), consiste no acréscimo dos elementos dendrométricos (por exemplo, diâmetro, altura, área basal e volume). Esse aumento é produzido pela atividade fisiológica da planta (meristema primário e secundário ou cambial). Em termos de diâmetro o crescimento se dá em função das atividades do câmbio vascular. As células formadas pelo câmbio vascular dão origem ao lenho, que por sua vez, se diferenciam em alburno (parte mais externa, com coloração mais clara, menos densidade e resistência, e com atividade fisiológica) e cerne (parte mais interna, coloração mais escura, maior densidade e resistência e sem atividade fisiológica).

Em termos de altura o crescimento se dá em função do meristema ou gema apical, através de divisões celulares.

O ritmo do crescimento é influenciado por fatores internos (fisiológicos), externos (ecológicos) e pelo tempo. Este último sempre vai atrelado ao crescimento, e é por este motivo que se procura conhecer a idade de uma árvore. O que cresce em uma árvore em períodos sucessivos de tempo, é o que se denomina de incremento.

A determinação do crescimento implica conhecer o estado inicial mensurável de magnitude crescente, assim como o outro estado final e o correspondente tempo transcorrido de um estado à outro. Esse crescimento acumulado ao longo do tempo é denominado de produção florestal (Scolforo, 1994).

Na vida da árvore se distinguem as diversas performances do crescimento em diâmetro, altura, área basal e volume. Isto se consegue por meio do estudo dos anéis de crescimento em espécies da zona temperada, porém, considera-se em termos gerais que todas as árvores seguem a mesma tendência. Nos trópicos os estudos de crescimento ainda são limitados, muitas vezes porque as árvores nem sempre apresentam anéis de crescimento visíveis e contínuos. Neste caso, tanto para as florestas plantadas como para as florestas nativas, o crescimento das árvores e da floresta como um todo é obtido por meio de medições e remedições em parcelas permanentes.

O crescimento de uma árvore isolada tem poucas características que são similares ao crescimento de um povoamento. Por este motivo o estudo do crescimento de uma árvore e de um povoamento ou floresta efetua-se por separado.

A definição do crescimento passado e crescimento futuro está implícita no próprio nome. Será necessário porém identificar o crescimento absoluto e o relativo. O crescimento relativo está definido como a razão do quociente entre o crescimento anual e o valor da magnitude de que procede, no início do ano ou do período de avaliação. Considerando m e M como valores da magnitude considerada no início e no fim, respectivamente, no intervalo de n

anos, o valor do crescimento relativo (Cr) será obtido pela fórmula algébrica de Breymann (Prodan et.al, 1997):

$$Cr = \left(\sqrt[n]{\frac{M}{m}} - 1 \right) \cdot 100$$

ou pela expressão de Pressler (Prodan, 1965, Prodan *et. al*, 1997):

$$Cr = \frac{2}{n} \cdot \frac{M - m}{M + m}$$

Os parâmetros de medição do crescimento em diâmetro, altura, área basal e volume de uma árvore, apresentam comportamento semelhantes ao longo do tempo. Em forma gráfica parece a uma curva sigmoideal (Figura 8), em que a primeira fase corresponde a idade juvenil, a segunda a idade madura e a terceira a idade senil (velha). Cada fase mantém um ritmo de crescimento característico da vida total da árvore e juntos eles formam a curva de crescimento.

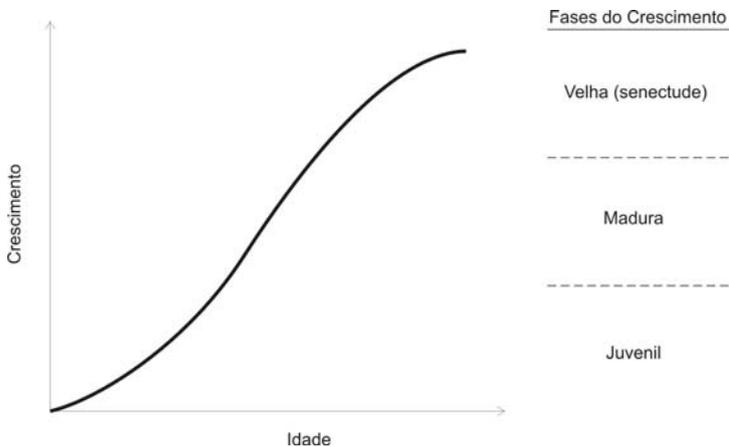


Figura 8: Forma típica da curva de crescimento de uma árvore

O crescimento de uma árvore poderá apresentar diferentes variações nas suas dimensões em altura, diâmetro, volume, área basal e peso, em função de diversos fatores que nem sempre podem ser controlados ou monitorados, como os fatores genéticos das espécies e suas interações com o ambiente.

Outras fontes de influência direta no crescimento são os fatores climáticos (temperatura, precipitação, vento, insolação etc.), pedológicos (características físicas, químicas e biológicas dos solos), topográficos (inclinação, altitude e exposição), biológicos (pragas e doenças) e pela própria competição com outras árvores e outros tipos de vegetação. Outros fatores que também se relacionam são aquelas derivadas de ações antrópicas (desbastes, incêndios etc.).

3.1 Crescimento em altura

O crescimento em altura se produz pela atividade da gema apical ou terminal, através da divisão celular. Este crescimento é também chamado de crescimento primário. Esta variável, altura da árvore, produz a modificação mais notória do crescimento, especialmente na idade juvenil em que é fácil observar a rapidez da modificação em altura em períodos curtos de tempo.

Este crescimento é avaliado medindo as alturas no início e no fim de um intervalo de tempo pré-definido. Por outro lado, em algumas árvores onde é possível realizar a análise de tronco pode-se determinar os correspondentes valores e índices de crescimento em altura, como foi mostrado na Figura 7.

3.2 Crescimento em diâmetro

O crescimento em diâmetro se refere ao aumento do diâmetro de uma árvore em um determinado período de tempo. Este crescimento é também denominado de crescimento secundário. Em geral, primeiro a árvore cresce em altura e depois em diâmetro. Este crescimento é influenciado principalmente pelo espaçamento e pelos mesmos fatores que apresentados para a altura.

Este crescimento não é igual ao longo de todo o tronco da árvore, para avaliá-lo se emprega, geralmente, a variável DAP no início e no fim do período requerido.

O crescimento em diâmetro está influenciado pela atividade do câmbio, por esta razão é possível registrar o crescimento correspondente a um dia, ou às vezes será necessário estabelecer o respectivo crescimento por tempos mais curtos, por exemplo, desde o nascer e o pôr do sol, ou intervalos de tempo mais prolongados, como semanas, meses e anos.

Para fins de ordenação florestal, geralmente efetuam-se medições a cada ano ou a intervalos de três a cinco anos, porém de acordo com os objetivos da pesquisa as medições podem ser realizadas em intervalos mais curtos ou mais longos.

3.2.1 Instrumentos para medir o crescimento em diâmetro

a) Fitotensiômetro

Os fitotensiômetros são instrumentos desenvolvidos para estudos ecofisiológicos, permitindo obter medições da expansão e dilatação do fuste das árvores. De maneira artesanal, pode-se construir o instrumento em função de um tubo de ensaio ou pipeta graduada e uma garrafinha plástica (Figura 9).

Obedecem basicamente os seguintes procedimentos de uso: coloca-se na garrafinha plástica um líquido colorido, a fim de permitir melhor visualização da medida correspondente, posteriormente fixa-se o instrumento, através de uma fita metálica, no fuste da árvore. Calibra-se a pressão da fita metálica sobre a garrafinha até que o líquido da pipeta coincida com um valor conhecido a ser marcado (considerado como ponto zero).

O crescimento diametral do fuste ou a atividade cambial da árvore fará com que exista maior pressão sobre a garrafinha, permitindo obter as medidas correspondentes, por meio do movimento do líquido colorido no tubo de ensaio ou pipeta graduada. O valor do crescimento será obtido pela diferença entre os valores registrados (inicial e final) na pipeta ou tubo de ensaio.

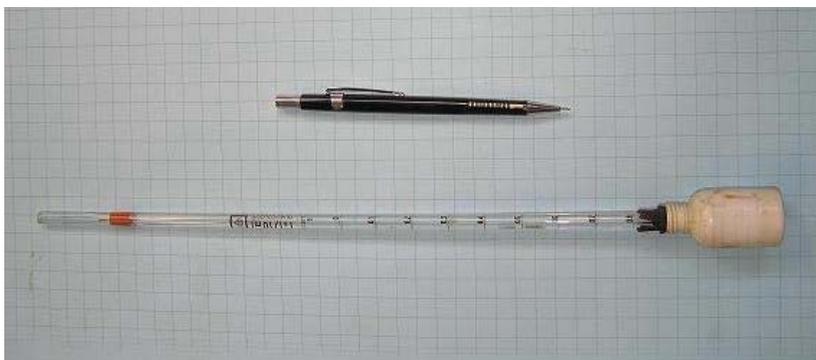


Figura 9. Fitotensiômetro

b) Dial Dendro

É um instrumento construído para realizar medições periódicas do crescimento diamétrico, em intervalos de tempo definidos pelo pesquisador. O instrumento compõe-se basicamente de uma escala de nônio (Figura 10) e uma mola metálica, localizada lateralmente no interior da caixa de suporte.

Dependendo da dimensão da circunferência do fuste a ser medido, pode-se utilizar várias bandas metálicas de 300 ou 900 mm de comprimento num sistema de encaixe, que acompanham o instrumento.

O princípio de medição está alicerçado na expansão da mola a cada aumento do crescimento diamétrico do fuste. A escala de medição oferece condições de registrar modificações da circunferência do fuste a partir de 80 mm.

Conseqüentemente, entre uma medição e outra pode-se medir o crescimento diamétrico correspondente de uma forma muito precisa (Imaña-Encinas, 1994).

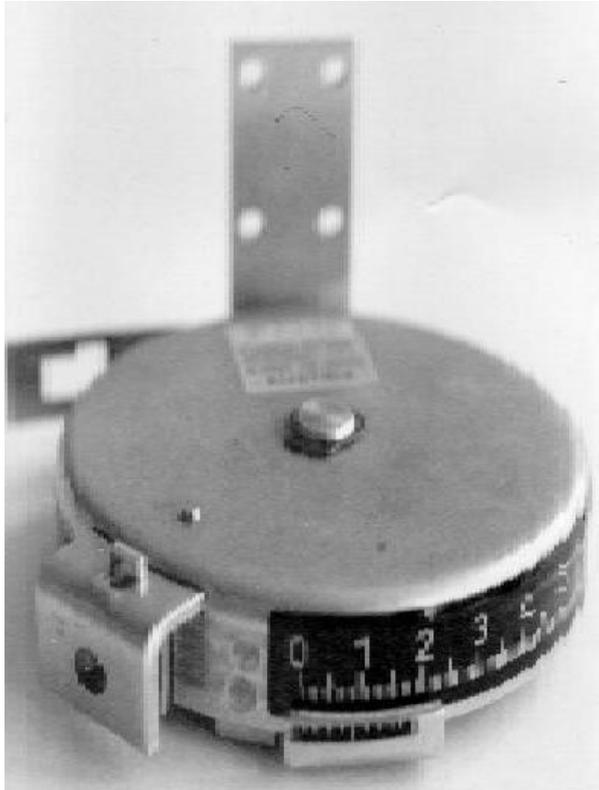


Figura 10. Dial-Dendro

c) Microdendrômetro

É um aparelho desenhado para medir as variações do diâmetro em períodos relativamente curtos (horas, dias, semanas ou meses). (Figura 11). Uma modificação deste instrumento é o microdendrógrafo que registra graficamente o crescimento diamétrico.

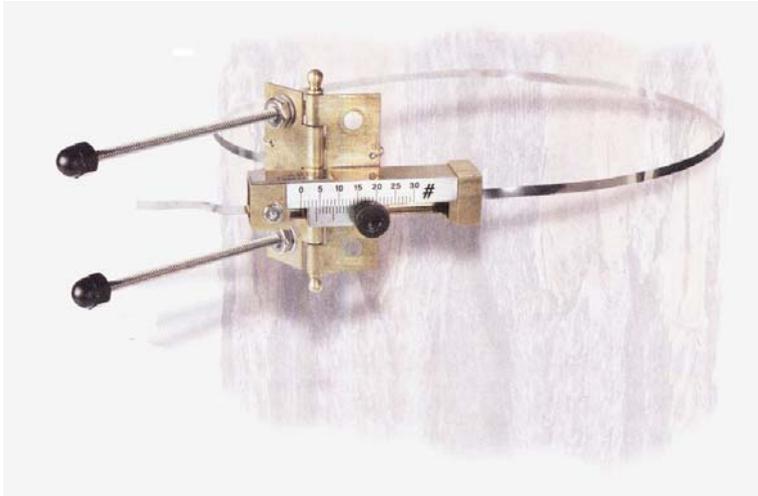


Figura 11. Microdendrômetro

A vantagem de proceder com minuciosas medições de crescimento em diâmetro, a través dos instrumentos acima citados, está na possibilidade de analisar o crescimento em área basal com um mínimo de erro, uma vez que esta incorpora no seu procedimento de cálculo apenas a variável DAP.

3.3 Crescimento em área basal

O crescimento em área basal é avaliado em função da medição do diâmetro. É importante tomar em conta que um crescimento constante por ano da área basal significa que o crescimento diamétrico vem diminuindo.

Para calcular o crescimento da área basal (C_{AB}) se emprega a seguinte fórmula:

$$C_{AB} = \frac{\pi}{4} \cdot 2 \cdot DAP \cdot I$$

onde: I = crescimento diamétrico

3.4 Crescimento em volume

O crescimento em volume se refere ao aumento do volume em um determinado período de tempo e, como nos casos anteriores, se avalia calculando a diferença dos volumes que a árvore teria no início e no fim do período (n) correspondente:

$$C_V = \frac{V_f - V_i}{n}$$

onde: C_V = crescimento em volume
 V_f = volume final
 V_i = volume inicial
 n = anos

O crescimento em volume está alicerçado nos crescimentos em diâmetro e altura e na forma do fuste. Por este motivo, o cálculo dos volumes iniciais e finais efetua-se com base nas medições iniciais e finais das variáveis citadas.

Se a medição é realizada em períodos muito curtos, considera-se que as variáveis altura e fator de forma podem se manter constantes, e o crescimento do volume pode ser calculado com a fórmula:

$$C_V = \frac{\pi}{4} \cdot f \cdot h \cdot (D_f^2 - D_i^2)$$

onde: C_V = crescimento em volume
 f = forma
 h = altura
 D_f = diâmetro final
 D_i = diâmetro inicial
 π = 3,1416

O crescimento em volume é influenciado pelos mesmos fatores mencionados para o crescimento em altura e, principalmente, pela densidade da floresta. Scolforo (1994) comenta que os povoamentos florestais com maior densidade, embora apresente maiores valores médios de diâmetro e área basal individual, possuem uma menor produção líquida que as florestas com menor densidade. Isto ocorre devido ao maior número de árvores por unidade de área.

As intervenções silviculturais (por exemplo, desbaste) também podem influenciar na produção florestal, estimulando o crescimento em volume quando aplicadas na intensidade correta.

Uma estimativa mais precisa do crescimento volumétrico pode ser obtida através da utilização de tabelas de volume. A tabela de volume nada mais é do que uma relação numérica, na forma tabular, capaz de estimar o volume total ou parcial de uma árvore a partir de variáveis dendrométricas independentes e de fácil obtenção, como diâmetros e alturas (Finger, 1992). As tabelas que consideram diâmetro, altura e a função de forma do fuste oferecem valores mais aproximados que aquelas de uma ou duas entradas, por exemplo, apenas diâmetro ou diâmetro - altura.

3.5 Crescimento relativo

Para calcular o crescimento relativo ou em porcentagem considera-se que a árvore é um capital que cresce devido aos juros (acrécimo das variáveis dendrométricas). Nesse sentido o crescimento pode ser avaliado através das fórmulas de juros simples e de juros compostos.

Fórmula de juros simples, utilizando a variável volume (Prodan, 1965, Prodan *et al*, 1997):

$$I_s(\%) = \left[\frac{(V_f - V_i)}{n \cdot V_f} \right] \cdot 100$$

onde: I_s = % do incremento anual à base do V_i (% do juro simples)
 V_i = volume no início do período (capital inicial)
 V_f = volume ao final do período (capital final)
 n = número de anos do período (tempo)

Fórmula de juros compostos, utilizando a variável volume (Prodan, 1965, Prodan *et al*, 1997):

$$I_C(\%) = \left(\sqrt[n]{\frac{V_f}{V_i}} - 1 \right) \cdot 100$$

onde: I_C = % do incremento ou crescimento anual (juro composto).

A fórmula do juro composto oferece uma estimaco percentual do incremento anual muito precisa na etapa juvenil da árvore, quando esta cresce com mais rapidez.

Existem outras fórmulas que permitem avaliar o crescimento volumétrico em percentagem (P_v), as mais conhecidas so (Prodan, 1965; Prodan *et. al*, 1997):

Fórmula de Pressler

$$P_v = \left(\frac{V_f - V_i}{V_f + V_i} \right) \cdot \frac{200}{n}$$

P_v = % do crescimento volumétrico

Fórmula de Kunze

$$P_v = \frac{(V_f - V_i) \cdot 200}{V_f(n-1) + V_i(n+1)}$$

P_v = % do crescimento do volume médio $(V_i + V_f)/n$

Fórmula de Breymann

$$P_v = \frac{(V_f - V_i)}{n \cdot V_f} \cdot 100$$

P_v = % do crescimento volumétrico

Breymann, engenheiro florestal austríaco (Prodan, 1965), publicou em 1868 a fórmula de cálculo acima indicada, fórmula matemática que posteriormente foi adotada pela área da economia para o cálculo clássico de juros compostos, considerando-a uma das grandes contribuies que a engenharia florestal deu à moderna área da matemática financeira.

Quando as árvores apresentam anéis de crescimento bem visíveis,  possível a medio do crescimento em diâmetro para um período determinado de anos, contando o número de anéis, como visto anteriormente no item 2.3. Contando com dados de número de anéis de crescimento pode-se calcular a percentagem de incremento anual da área basal, através das seguintes fórmulas (Prodan, 1965; Prodan *et.al*, 1997):

Fórmula de Pressler

$$P_{AB} = \frac{400}{n} \left(\frac{D_f - D_i}{D_f + D_i} \right)$$

Fórmula de Schneider

$$P_{AB} = \frac{400}{r \cdot D_f}$$

Fórmula de Borggreve

$$P_{AB} = \frac{100 \cdot (4/n) \cdot D}{D^2}$$

Fórmula de Wahleberg

$$P_{AB} = \frac{40 \cdot K}{D_f}$$

Fórmula de Jonson

$$P_{AB} = \frac{100}{n} \left(1 - \frac{D_i^2}{D_f^2} \right)$$

onde: P_{AB} = % de crescimento da área basal
D = DAP sem casca em cm
Di = diâmetro sem casca ao início do período
Df = diâmetro sem casca ao final do período
n = número de anos do período
r = número de anéis no último centímetro
K = longitude radial em cm dos últimos 10 anéis.

3.6 Funções de crescimento

Conforme exposto anteriormente, se deduz que o crescimento, fundamentalmente, é função do tempo, portanto, apresentando as seguintes características (Guimarães, 1986):

a) $\lim_{t \rightarrow \infty} W = \alpha$

b) ter um ponto de inflexão, expresso pelo parâmetro γ

c) $\lim_{t \rightarrow \infty} W = A$

onde: W = crescimento
 α = dimensão inicial
t = tempo
A = dimensão na maturidade

Vários modelos matemáticos (Finger, 1992; Scolforo, 1994) foram desenvolvidos para tentar explicar e interpretar as diversas tendências das curvas de crescimento. Alguns desses modelos foram derivados da curva $(1 \pm Ae^{-kt})^\gamma$. Os principais modelos paramétricos ajustados são (Guimarães, 1986, Scolforo, 1994):

Função logística

$$W = \frac{A}{1 + be^{-kt}}$$

Função de Gompertz

$$W = Ae^{-be^{-kt}}$$

Função de Richards

$$W = A(1 - be^{-kt})^\gamma$$

onde: W = crescimento
A = valor assintótico da variável que pode ser atingido
b = parâmetro de posição no tempo zero
k = taxa ou constante de crescimento
t = tempo
e = expoente

4. Predição do crescimento

Uma das principais finalidades da medição do crescimento é fornecer informação sobre a produção presente e futura de árvores ou de povoamentos florestais e florestas nativas, por meio de previsão do crescimento, principalmente o volumétrico.

Esta previsão está mais relacionada ao crescimento de povoamentos florestais do que de árvores individuais. Por certo que o crescimento de povoamentos é uma aplicação direta do crescimento das árvores individuais.

A previsão do crescimento está alicerçada em um dos três princípios seguintes:

1. Igualando o crescimento do passado com o crescimento do futuro.

De acordo com este princípio, a previsão do crescimento para um período no futuro será considerada igual ao acúmulo do crescimento de um período igual ao ocorrido anteriormente (Figura 12).

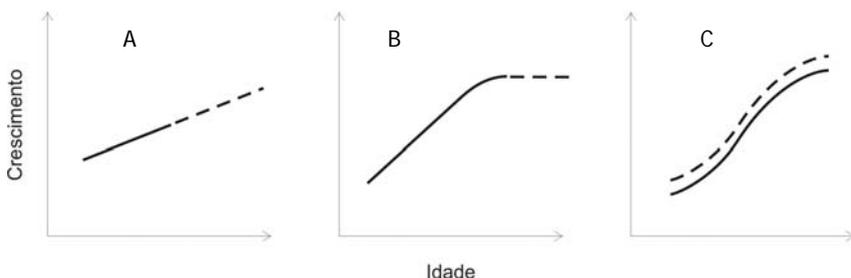


Figura 12. Curvas de crescimento acumulado e de previsão

Na Figura 12-A, o crescimento previsto estará representado pela linha pontilhada. Uma extrapolação linear poderá produzir uma super estimação para muitas variáveis do crescimento, posto que o crescimento natural tende a desacelerar com a idade. No entanto, este princípio é válido para previsões de área basal. Estudos já realizados demonstraram que o crescimento em área basal continua em uma taxa constante pela maior parte da vida da árvore. Uma estimacão da área basal futura pode ser obtida por uma extrapolação linear da área basal ou do quadrado do diâmetro progresso.

Para o crescimento do volume pode-se fazer a base da porcentagem do crescimento anual, presumindo-se que a árvore crescerá na mesma proporção o tempo todo.

2. Prolongando a curva de tendência do crescimento passado.

Segundo este princípio (Figura 12-B) , assume-se uma tendência das árvores à seguir o ritmo fixo de crescimento. Isto pode ser válido unicamente para determinadas etapas do crescimento da árvore ao longo das fases de sua vida (Figura 8), como na juvenil, madura e senil.

3. Comparando os dados de um período curto com os existentes para os períodos longos de árvores similares em condições ambientais semelhantes.

Este princípio tem uma base muito mais científica que os métodos anteriores, pois apresenta resultados confiáveis e precisos (Figura 12-C). Neste caso, assume-se ou toma-se um maior número possível de observações em um amplo período de tempo. Sem embargo devem ser feitos continuamente ajustes a determinadas circunstâncias, especialmente em algumas práticas silviculturais.

Entretanto, torna-se muito perigoso fazer quaisquer das previsões do crescimento com base apenas nas previsões anteriores, pelas seguintes razões:

- o crescimento depende de vários fatores, o que não assegura que no futuro continuarão iguais;
- o tempo ao qual se deseja estender a previsão deve ser curto, pois se estender demais, maior será a insegurança;
- necessita-se dispor de um número suficiente de medições sobre o crescimento da árvore no passado. Este é relativamente fácil em árvores que apresentam anéis de crescimento bem visíveis. Caso contrário, deve-se efetuar medições periódicas, em parcelas permanentes até dispor de um número adequado de dados. Quanto menor for o número de dados, menor será a exatidão da previsão.

5. Incremento

O crescimento de qualquer das variáveis dendrométricas pode ser avaliado segundo as modificações, geralmente de acréscimo, acumuladas ao longo do tempo. A essa característica é que se

chama de incremento, ou seja, é a maneira de se expressar o crescimento das variáveis dendrométricas em função do tempo .

Conseqüentemente a intensidade de crescimento é traduzida em termos de acréscimos que as variáveis consideradas sofrem durante determinado período. Portanto, deve-se definir o tipo de acréscimo que se pretende manejar, a fim de interpretar o fenômeno que possa se produzir (Bruce e Schumacher, 1950).

O incremento pode ser definido como o crescimento da árvore ou de um povoamento florestal em um determinado período. Este período pode ser expresso em dias, meses, anos, décadas etc. Assim, por exemplo, o acréscimo anual (i) de uma variável dendrométrica (y) entre um ano qualquer (t) e o ano seguinte (t+1) é dado pela expressão

$$i = y(t+1) - y(t)$$

Quando $t = 1$ o acréscimo anual ou corrente é aquele acréscimo que ocorre durante um ano.

Se o período considerado for de (n) anos, ter-se-á o seguinte acréscimo:

$$i = y(t+n) - y(t)$$

Se o período considerado for maior que um ano, este é expresso como acréscimo periódico. Se o acréscimo acumulado for dividido pelos anos pertinentes (idade da árvore, da floresta ou do povoamento florestal), se traduz o valor médio da variável em acréscimo médio anual.

Esse acréscimo ou incremento pode ser obtido para as variáveis dendrométricas diâmetro, altura, volume e área basal. Na prática dasométrica a variável mais utilizada é o volume.

Desta forma a produção de uma árvore ou da floresta toda é avaliada com base no crescimento em função do tempo, ou seja, do incremento volumétrico, considerando ainda os fatores genéticos e ambientais locais (qualidade do sítio).

5.1 Incremento Corrente Anual

Expressa o crescimento ocorrido entre o início e o fim da estação de crescimento, em um período de 12 meses, ou entre dois anos consecutivos. Esse crescimento também é conhecido como crescimento acumulado, incremento corrente anual (ICA) ou simplesmente como incremento anual (IA), correspondendo o que a árvore cresceu no período de um ano.

$$ICA = Y_{(t+1)} - Y_{(t)}$$

onde: ICA = incremento corrente anual
Y = dimensão da variável considerada
t = idade

Exemplo no caso do volume:

Incremento volumétrico anual (IA) = volume 2003 – volume 2002.

5.2 Incremento Periódico

Expressa o crescimento em um período de tempo determinado.

$$IP = Y_{(t+n)} - Y_t$$

onde: IP = incremento periódico
Y = dimensão considerada
t = idade
n = período de tempo

Quando n = 1, então o IP = ICA

Exemplo no caso do volume:

Incremento volumétrico periódico (IP) em um período de 5 anos = volume em 2005 – volume em 2000.

5.3 Incremento Médio Anual

O valor do incremento ou crescimento médio anual (IMA) expressa a média do crescimento total a certa idade da árvore. Expressa, portanto, a média anual do crescimento para qualquer idade. É obtido pela divisão da grandeza atual da variável considerada pela idade a partir do tempo zero.

$$IMA = Y_t / t_0$$

onde: IMA = incremento médio anual
t₀ = idade a partir do tempo zero
Y = dimensão da variável considerada

Exemplo para o caso do volume

$$IMA = \frac{\text{volume_da_árvore}}{\text{idade}}$$

5.4 Incremento Periódico Anual

O incremento ou crescimento periódico anual (IPA) é o que a árvore cresceu em média de um determinado período de anos. Por exemplo, o que a árvore cresceu em 5, 10 ou 15 anos. O cálculo se baseia nos valores do início e fim do período, e o número de anos.

Para determinadas espécies a velocidade de crescimento é bastante lenta o que torna difícil medir o incremento em períodos curtos de tempo. Este fenômeno é típico de espécies de clima temperado que devido às baixas temperaturas têm suas taxas de crescimento reduzidas.

Este fenômeno também acontece com espécies em povoamentos inequidanos, mesmo em climas tropicais. Isto ocorre em função de seu grupo ecológico ou grupo funcional, ou mesmo devido às condições de competição nesse tipo de floresta, além de outros fatores que possam afetar o crescimento, levando essas espécies à apresentarem taxa de crescimento reduzida.

Nessas situações é razoável expressar o crescimento anual pela média do crescimento em um determinado período de anos.

$$IPA = (Y_{(t+n)} - Y_t)/n$$

onde: Y = dimensão da variável considerada
t = idade
n = período de tempo

Exemplo do caso do volume

$$IPA = \frac{\text{volume_em2004} - \text{volume_em1994}}{10_anos}$$

Considerando-se os fatores genéticos e ambientais como constantes, as curvas de crescimento podem ser obtidas em função da idade. A curva do incremento anual (IA) apresenta um tipo de forma sigmoidal, mostrando o crescimento acumulado até uma certa idade (Figura 13).

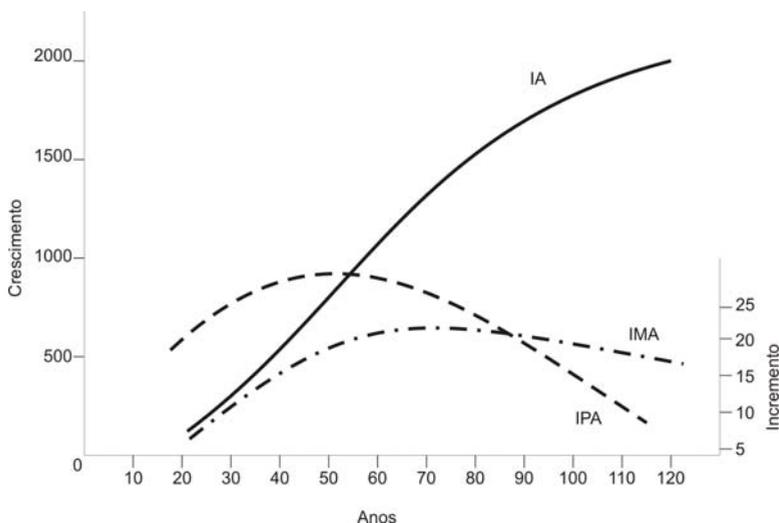


Figura 13. Curvas típicas do crescimento e incrementos

O incremento periódico anual (IPA) apresenta seu valor máximo mais cedo do que o incremento médio anual (IMA), antes de ambos declinarem (Figura 13). O cruzamento da curva do IPA com o IMA determina a idade da rotação comercial do povoamento florestal.

5.5 Análise do Crescimento e dos Incrementos

O crescimento das árvores e, conseqüentemente, da floresta está intimamente associado ao fator tempo e às condições ambientais do local. Quando as condições ambientais (por exemplo, edáficas e climáticas) são favoráveis ao desenvolvimento das árvores, estas expressam a sua máxima capacidade de crescimento. Neste caso, a curva de crescimento (Figura 8) apresenta o comportamento típico alcançado em cada uma das fases de

crescimento da árvore e as variações no ritmo de crescimento para cada uma delas.

Analisando a curva de crescimento é possível identificar nitidamente três fases bem definidas: fase juvenil, fase madura e fase senil (Figura 8). A identificação dessas fases no gráfico é feita com base nos pontos de inflexão da curva, ou seja, quando há uma mudança no ritmo de crescimento. Tomando como base os dados de crescimento e de incrementos (Tabela 3) é possível construir um gráfico e comparar o comportamento dos incrementos médio anual (IMA) e periódico anual (IPA). Ou mesmo do crescimento corrente anual (IA), se as avaliações tiveram sido realizadas anualmente. A partir das curvas de tendência desses incrementos é possível planejar a condução da floresta com vista ao manejo da produção florestal.

Tabela 3. Dados de crescimento e incrementos do volume

Idade (anos)	PMC (anos)	Densidade (n/ha)	IA (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha)	IPA (m ³ /ha)
5		4200	33	6,6	
	7,5				17,2
10		3300	119	11,9	
	12,5				31,0
15		2380	274	18,27	
	17,5				25,4
20		1415	401	20,05	
	22,5				13,4
25		850	468	18,72	
	27,5				5,6
30		610	496	16,53	
	32,5				3,0
35		490	511	14,60	
	37,5				1,4
40		425	518	12,95	
	42,5				0,8
45		420	522	11,60	
	47,5				0,2
50		415	523	10,46	

PMC = ponto médio da classe de idade, IA = crescimento corrente anual, IMA = incremento médio anual, IPA = incremento periódico anual

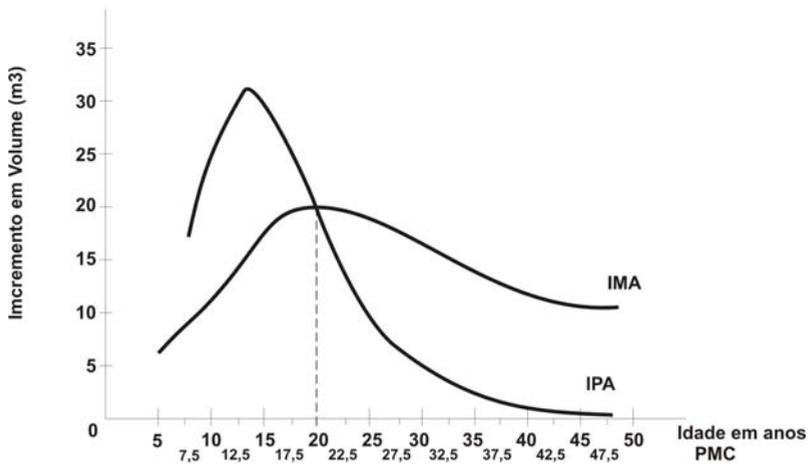
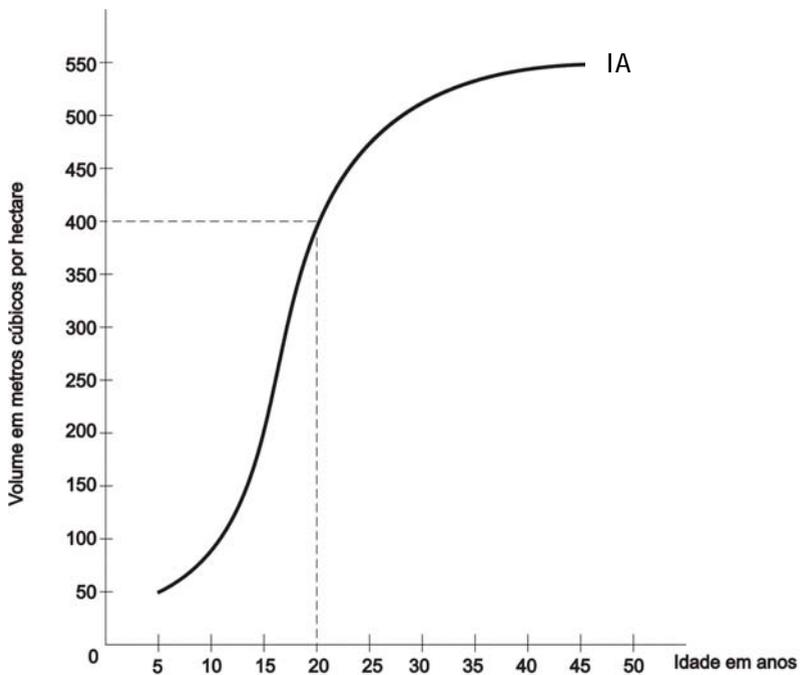


Figura 14. Forma das tendências do incremento anual (IA), incrementos médio anual (IMA) e periódico anual (IPA).

Quando o IMA atinge o seu máximo valor, se define nos sistemas de manejo florestal como o melhor momento, sob o ponto de vista silvicultural, de intervir nos povoamentos através de desbastes ou cortes de exploração. O máximo desbaste será alcançado no momento em que o maior acréscimo é conseguido pelo menor número de árvores, nesse sentido são diferenciados desbastes quantitativos e qualitativos que devem ser extraídos das curvas de crescimento.

Quando o IPA for maior que o IMA é sinal que o IMA está crescendo, por outro lado, quando IPA for menor que o IMA é sinal que o IMA está decrescendo. Desta forma, o ponto de interseção do IMA/IPA indica o ponto com o valor máximo de produção florestal por unidade de área. Este valor será encontrado quando esse ponto de interseção for projetado na curva do IA.

No caso do exemplo a idade de máximo incremento média anual foi obtida no vigésimo ano, indicando a idade ótima de rotação técnica do povoamento, também conhecido como rotação comercial, momento em que deve ser processada a colheita florestal. Caso nessa idade as árvores do povoamento não alcançaram ainda o diâmetro mínimo almejado, em função do destino a que se deseja à produção florestal, deve-se aplicar alguma ação silvicultural para que o povoamento retome o crescimento, por exemplo desbaste, poda, adubação, etc.

Referências Bibliográficas

- Bruce, D.; Schumacher, F.X. Forest mensuration. New York, MacGraw-Hill, 1950. 483p.
- Guimarães, D.P; Castro, L.H.R. Análise de funções de crescimento. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC, 1986. 21p. (Boletim de Pesquisa, 29)
- Finger, C.A.G. Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria: UFSM, CEPEF, FATEC, 1992. 269p.
- Imaña-Encinas, J. Medições de crescimento com o Dial-Dendro. Silvicultura, v.15, n.5, p.22-23. 1994

- Loján , L. Una fórmula para estimar volúmenes en un bosque tropical húmedo. Turrialba (Costa Rica) v.16, n.1, p.67-72. 1966.
- Machado, S. do A. Dendrometria. sem local: sem editora, sem ano. 37p.
- Mackay, E. Dasometria, teoria y técnica de las mediciones forestales. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, 1964. p.549-687
- Parde, J. Dendrometrie. Nancy, França: Imprimiere Louis – Jean, 1961. 351p.
- Prodan, M. Holzmesslehre. Frankfurt: Sauerlaender's Verlag, 1965. 644p.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. Mensura forestal. San José – Costa Rica: GTZ-IICA, 1997. 586p.
- Scolforo, J.R.S. Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal, parte 1. Lavras: ESAL, FAPE, 1994. 188p.
- Silva, J.A.; Paula Neto, F. Princípios básicos de dendrometria. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1979. 185p.
- Smidt, P. B. Silvimetria II. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, sem ano. 109p.
- Souza, P.F. de. Terminologia florestal, glossário de termos e expressões florestais. Guanabara (RJ): Fundação IBGE, 1973. 304p.