

**CRESCIMENTO EM VOLUME DE *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze EM TRÊS REGIÕES DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL<sup>1</sup>**

**VOLUME GROWTH OF *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze IN THREE REGIONS OF RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL**

André Felipe Hess<sup>2</sup> Paulo Renato Schneider<sup>3</sup>

**RESUMO**

O presente trabalho teve como objetivo estudar o crescimento de volume em função da idade da *Araucaria angustifolia*, nas regiões do Planalto Médio, Encosta Superior do Nordeste e Serra do Sudeste do Rio Grande do Sul. Para isso, foram gerados dados de crescimento por idade por dendrocronologia e ajustadas equações de crescimento. A equação de Backman mostrou-se eficiente com aplicação de variáveis dummy, permitindo identificar diferenças no crescimento para as regiões estudadas, indicando haver à necessidade de equações separadas para cada local, o que permite minimizar erros de estimativas. Os resultados obtidos demonstram que em cada região a espécie apresenta forma e velocidade de crescimento volumétrico diferenciado. Na Serra do Sudeste o incremento médio anual máximo foi de 0,0311 m<sup>3</sup>, aos 56 anos; no Planalto Médio foi de 0,0198 m<sup>3</sup>, aos 46 anos; e, na Encosta Superior do Nordeste foi de 0,026 m<sup>3</sup>, aos 48 anos de idade, indicando um bom potencial de crescimento médio em volume nestas regiões de estudo.

**Palavras-chave:** crescimento; regiões fitogeográficas; *Araucaria angustifolia*.

**ABSTRACT**

The objective of the present work was to study the volume growth of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze individuals, in function of tree ages, in the region of Planalto Médio, Encosta Superior do Nordeste and Serra do Sudeste in Rio Grande do Sul. For this sake, growth equations were fitted to growth data generated to different tree ages estimated by dendrocronology. Backman's growth equation demonstrated to be efficient with the application of dummy variables, allowing the identification of growth differences according to the region being studied. In order to reduce estimative errors, different equations are needed for each place. Results demonstrated that, in each studied region, the species showed different form and velocity of volumetric growth. In Serra do Sudeste, the maximum annual mean increment in volume was 0.0311 m<sup>3</sup> at 56 years-old; in Planalto Médio was 0.0198 m<sup>3</sup> at 46 years-old; and, in the Encosta Superior do Sudeste was 0.026 m<sup>3</sup> at 48 years-old, indicating a good potential of mean growth in the studied regions.

**Keywords:** growth; phytogeographics areas; *Araucaria angustifolia*.

- 
1. Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria (RS).
  2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Av. Luíz de Camões, 2090, CEP 88520-000, Lages (SC). hessandre@yahoo.com.br
  3. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, CEP 97105-900, Santa Maria (RS). paulors@smail.ufsm.br

Recebido para publicação em 7/11/2008 e aceito em 7/10/2009.

## INTRODUÇÃO

O processo de redução drástica da extensão dos maciços florestais de pinheiro ocorreu inicialmente com a instalação de centenas de indústrias madeireiras, em toda a área de dispersão natural dessa espécie, interessadas no aproveitamento de sua madeira de altíssima qualidade. Posteriormente, a agricultura da queima da roça incubiu-se de levar a extinção grandes áreas de florestas, as quais pareciam inesgotáveis. Atualmente, a espécie é encontrada em áreas reduzidas, tanto em florestas primárias como em florestas secundárias, provenientes da regeneração natural ocorrida após a sua exploração.

O estudo da relação entre a capacidade produtiva de povoamentos florestais, atributos do solo e do relevo, isto é, do potencial produtivo e das principais limitações à produção de uma determinada área ou região, torna-se essencial quando se tem como objetivo o manejo racional da floresta e dos recursos indiretos por ela mantidos, evitando a exaustão e degradação, visando à máxima produtividade sustentável, especialmente quando se referem às florestas nativas (JONAS, 2003).

O comportamento de crescimento específico para cada região, aliado à integração com fatores selecionados do ambiente, possibilita ao silvicultor reconhecer e visualizar em conjunto as características distintas da floresta, permitindo relacionar a capacidade produtiva do povoamento, bem como realizar o zoneamento da produtividade, dos atributos da espécie, do solo e/ou relevo e do clima, possibilitando o desenvolvimento de ferramentas para tomada de decisão na intervenção nos povoamentos.

As pesquisas sobre o crescimento das espécies arbóreas individuais ou grupos de espécies nativas sempre foram mais difíceis no aspecto de identificação dos anéis de crescimento, atualmente essa dificuldade é aumentada pela legislação florestal restritiva. A análise de tronco em árvores nativas com anéis visíveis é uma opção rápida e eficaz de se estudar as dimensões alcançadas pelas árvores em épocas passadas e obter informações importantes sobre parâmetros biométricos para descrever o desenvolvimento de uma determinada espécie, como o diâmetro, altura e volume (TONINI *et al.*, 2003).

O crescimento das árvores, no tempo, depende das condições ambientais, que sendo favoráveis em um determinado período possibilitam o máximo rendimento. Em florestas nativas, a dinâmica da sucessão faz com que as condições

ecológicas sejam diferenciadas para cada indivíduo ao longo do tempo.

O manejo florestal envolve-se com as medições de crescimento em duas formas principais: a primeira como uma medida de desempenho ou o que aconteceu no passado, que é essencialmente um problema de avaliação de sucessivos inventários; a segunda, indispensável para o planejamento, é a predição do crescimento. Essas duas formas são diferentes em objetivos, embora utilizem técnicas similares de mensuração. O futuro não é o passado, especialmente nos estágios iniciais de aplicação do manejo, pois o crescimento que ocorreu sob condições passadas pode ser uma medida pobre do crescimento acumulado em produtos comerciais de povoamentos manejados no futuro (DAVIS, 1966).

Segundo Daniel *et al.* (1979), o crescimento total em um povoamento, incluindo tocos e raízes, pode ser expresso de várias formas, dependendo do propósito do manejo, o que pode incluir: a produção total sobre a rotação; os volumes removidos nos cortes intermediários; IMA; IPA; o crescimento bruto e líquido. Cada termo pode ser expresso em uma grande variedade de unidades (m<sup>3</sup>, metro estéreo, tonelada, etc.), sendo a análise do crescimento influenciada pela escolha da unidade, que é influenciada pelos objetivos do manejo e utilização potencial.

O crescimento é comumente expresso em termos de unidades de volume, que são mais fáceis de medir e certamente mais óbvias. No entanto, o manejo objetivando simplesmente a produção em volume, muitas vezes, não é suficiente, pois as condições de crescimento podem afetar profundamente as propriedades físicas e químicas da madeira e, conseqüentemente, a sua utilização para vários usos. A mensuração do crescimento em termos de unidades de volume é o primeiro e imediato problema, sendo a transformação em unidade de valor o passo final necessário (DAVIS, 1966).

Para Oliver e Larson (1996), o termo produção refere-se ao volume de uma árvore ou povoamento e o termo crescimento à mudança em uma árvore ou povoamento com o tempo. Para cada árvore, a matéria orgânica total adicionada a cada ano é denominada de crescimento bruto. Se alguma perda em tamanho como galhos, raízes ou folhas são subtraídos, tem-se o crescimento líquido.

Segundo Daniel *et al.* (1979), o crescimento de qualquer organismo vivo segue a forma sigmoidal. No entanto, a forma pode variar para cada situação de genótipo e ambiente. Para cada caso, o silvicultor

necessita prognosticar a extensão do período de crescimento na fase juvenil, a taxa de crescimento durante a fase de pleno vigor, o período no qual a taxa de crescimento declina e o grau em que certas características são controladas pelo genótipo e o ambiente. O crescimento, portanto, é afetado pelo estágio de desenvolvimento de um povoamento que está sempre condicionado à idade, qualidade do sítio, espécie, densidade e à unidade de medição em que é expresso.

O objetivo deste estudo foi o de conhecer o comportamento do crescimento em volume em função da idade, para *Araucaria angustifolia*, relacionado a fatores ambientais, com o emprego de modelagem de regressão e variáveis dummy, em diferentes regiões fitogeográficas, possibilitando o conhecimento característico para cada região, bem como a elaboração de planos de manejo específico para a espécie e o local, incluindo as variáveis ambientais que mais influenciam no crescimento.

## MATERIAL E MÉTODO

### Caracterização da área de estudo

A área de estudo constituiu-se de três regiões fitogeográficas do Rio Grande do Sul, definidas por: Serra do Sudeste, Planalto das Missões e Encosta Superior do Nordeste, conforme Figura 1. Essas regiões foram escolhidas por se tratarem de locais de expressiva ocorrência primitiva da *Araucaria angustifolia*.

No Planalto Médio, a amostragem foi realizada na FLONA de Passo Fundo, localizada no município de Mato Catelhana, a 22 km de Passo Fundo, RS que possui uma superfície de 1.328 ha, sendo coberta de floresta nativa em diversos ambientes florísticos entre eles, *Araucaria angustifolia*.

Essa área se situa a uma latitude de 28°00'00" S e longitude de 52°00'00" W e uma altitude de 780 metros acima do nível do mar. A região, segundo

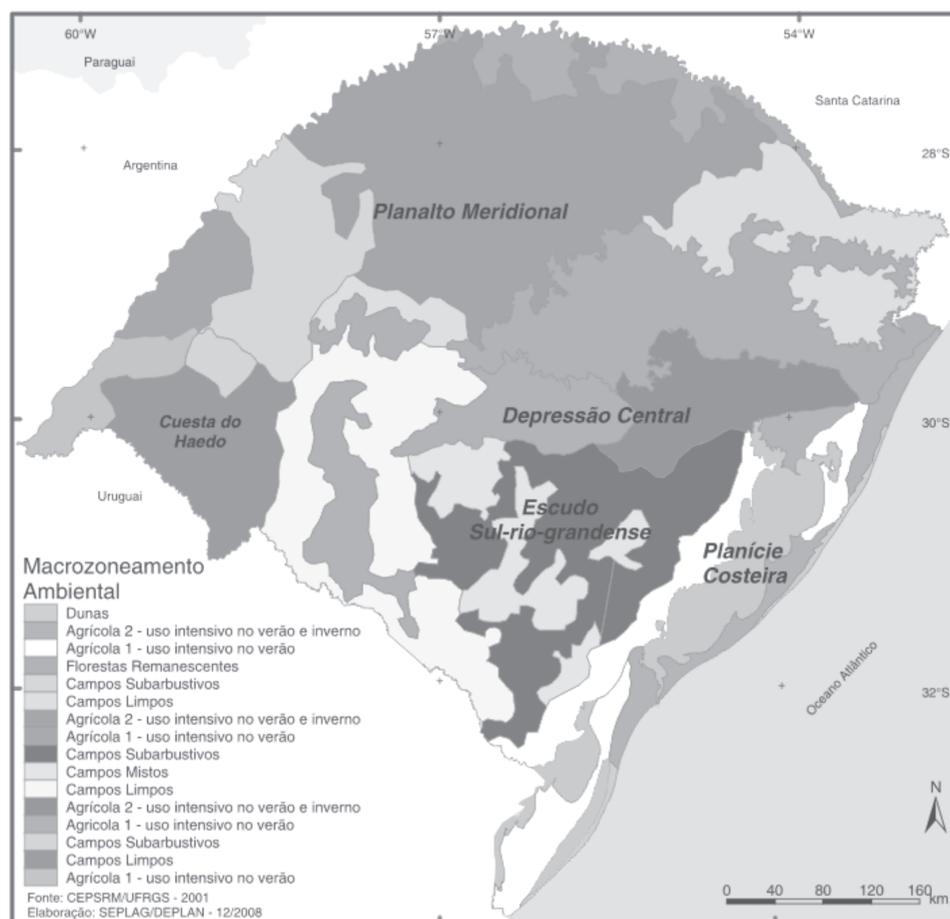


FIGURA 1: Regiões Fitogeográficas do Rio Grande do Sul com as três áreas de estudo da espécie (Fonte: UFSSM/SEMA-RS, 2001).

FIGURE 1: Areas of the specie being studied with the three phytogeographics areas.

classificação climática de Köppen, apresenta um clima subtropical do tipo Cfa, caracterizada por uma elevada umidade relativa do ar, temperatura média anual de 17,5°C e precipitação de 1659mm, com ocorrência de chuvas também no inverno.

O solo da área de estudo pertence à unidade Passo Fundo. Na unidade de mapeamento Passo Fundo, o solo é classificado com Latossolo Vermelho Distrófico típico, que compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico. São solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de energéticas transformações no material constitutivo, com capacidade de troca de cátions baixa. Variam de fortemente a bem drenados, embora ocorram variedades que tem cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenados, transicionais para condições de maior grau de gleização (EMBRAPA, 1999).

Na região da Encosta Superior do Nordeste, os dados foram obtidos na Floresta Nacional de Canela, localizada no município de Canela, Rio Grande do Sul, distante 6 km da área urbana, situada entre as coordenadas geográficas 29°18' latitude sul e 50°53' longitude oeste. O clima da região, segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cfb1, temperado úmido (MORENO, 1961). De acordo com IPAGRO (1989), a região do município de Canela possui as seguintes médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar: temperatura mínima de 10°C; temperatura máxima média de 21,3°C; temperatura média anual de 14,8°C; precipitação média anual de 1.281mm; umidade relativa do ar de 80%.

Segundo EMBRAPA (1999), a região se enquadra no grupo de solo São Bento que abrange as formações da Serra Geral, Botucatu e Rosário do Sul. Especificamente, o local em estudo se encontra na formação Serra Geral, caracterizada por derrames de lava basáltica. O solo da região enquadra-se na unidade de mapeamento Bom Jesus, sendo pouco desenvolvido e classificado como Cambissol Húmico Alumínico típico. Compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial.

Em consequência da heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e das condições climáticas, as características desses solos variam de um local para outro. Assim, comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de cor bruna ou bruno-amarelada até vermelho-escuro, e de alta a baixa

saturação por bases e atividade química da fração coloidal. O horizonte B incipiente (B<sub>i</sub>) tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, e o *solum*, geralmente, apresenta teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila A para o B<sub>i</sub> (EMBRAPA, 1999).

Na Serra do Sudeste, os dados de araucária foram coletados em uma propriedade particular, com 7,1 hectares, localizada no município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul, na localidade do Salso, entre as coordenadas 26°14'52" E e 66°16'52" N e altitude de 338 metros.

A propriedade tem como característica a presença de fragmentos florestais, grande densidade de indivíduos de araucária, folhosas e campos naturais. A vegetação no local pode ser descrita como Floresta Estacional Decidual (IBGE, 1992). Em virtude da redução drástica da cobertura florestal do Estado, a região da Serra do Sudeste é apontada como uma das principais áreas com vistas à conservação da flora regional por abrigar um grande número de espécies endêmicas em formações abertas (GUADAGNIN *et al.* 2000).

A temperatura média anual é ao redor de 16,8°C. A precipitação média anual é ao redor de 1.665 mm, podendo ocorrer chuva torrencial de 119 mm em 24 horas e geadas de abril a novembro. Os períodos de secas mais frequentes se verificam entre os meses de novembro a março (MORENO, 1961).

O solo da região pertence à unidade de mapeamento Carajá, classificado como Argissolo vermelho-amarelo eutrófico abruptico. Compreendem solos constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais, argila de atividade baixa e horizonte superficial. Parte dos solos desta classe apresenta um evidente incremento no teor de argila, com ou sem decréscimo, do horizonte B para baixo no perfil. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual. São de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas, e mais raramente, brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt (EMBRAPA, 1999).

### Obtenção dos dados dendrométricos

Os dados foram obtidos por análise de tronco de árvores, nas três regiões de estudo, em povoamentos de *Araucaria angustifolia* pertencentes ao IBAMA e, em propriedade particular na Serra do Sudeste. Na

Serra do Sudeste, em consequência da Legislação Florestal vigente, elaborou-se relatório para Retirada de Árvores Ameaçadas de Extinção, conforme formulário da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA/RS), obtendo-se a liberação para derrubar e realizar a análise de tronco. Foram escolhidos indivíduos que estavam em local plano, longe de reserva legal, cursos d'água e que, ao tombarem, não danificariam espécies circunvizinhas. O povoamento estudado apresenta um diâmetro médio de 26,9 cm, altura média de 12,3 m, volume médio de 0,6384 m<sup>3</sup>/sc e idade média de 52 anos.

No Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste, foram traçadas três linhas, com 150 m de comprimento cada. Sobre cada linha, foram locadas quatro unidades amostrais dispostas de maneira equidistante. No Planalto Médio, a idade média é de 40 anos, o diâmetro médio é de 23,2 cm, a altura média de 14,3 m, volume médio de 0,4118m<sup>3</sup>/sc. Enquanto na Encosta Superior do Nordeste, a idade média é de 47 anos, o diâmetro médio é de 25,7 cm, a altura média é de 16,3 m e o volume médio é de 0,5853 m<sup>3</sup>/sc.

Nesses locais, foram instaladas unidades amostrais temporárias, utilizadas somente para uma única coleta de dados. O método de Bitterlich foi utilizado para a alocação das unidades amostrais, sendo as árvores selecionadas com probabilidade proporcional ao seu diâmetro (Amostragem por Contagem Angular). Cada árvore da ACA teve mensuradas as suas características dendrométricas. Os diâmetros de todas as árvores de cada ACA foram obtidos nas alturas de 1,30 m partindo do solo; a área basal por hectare (G) foi obtida utilizando-se fator de área basal 4 do relascópio de Bitterlich, multiplicado pelo número de árvores selecionadas em cada ACA.

Em cada ACA, foram abatidas quatro árvores por região fitogeográfica para a realização de análise de tronco, e posterior reconstituição do crescimento do diâmetro no tempo. Para isso, foram utilizadas as normas de coleta de informações dendrométricas descritas por Schneider *et al.* (1988).

As árvores amostradas foram seccionadas em toras de comprimento-padrão, previamente definidos. De cada árvore, foram extraídos discos nas alturas de 0,10; 1,30; 3,3 m e, os demais, de 2 em 2 metros até o topo. Esses discos tinham cerca de 5 cm de espessura e foram utilizados para medições da análise de tronco.

Os discos foram secos em estufa e, posteriormente preparados por lixamento, com lixas

de várias gramaturas, até visualização integral de todos os anéis de crescimento. Em cada disco, foram tomadas medidas em quatro raios, sendo o primeiro num ângulo de 45° partindo do maior raio da fatia e os demais 90° um do outro. Os anéis de crescimento foram identificados com auxílio de lupa e, suas espessuras medidas com auxílio de mesa de medição micrométrica acoplada a um computador. Após as medições dos anéis de crescimento, realizada em aparelho, os dados foram processados no programa análise de tronco (ANATRO).

A identificação dos anéis de crescimento foi realizada de acordo com orientação de Schweingruber (1996) que descreveu os problemas na identificação de anéis de crescimento anual em *Pinus*, citando que podem existir anéis muito tênues próximos à medula, de difícil identificação visual e falsos anéis causados por estresse, relacionando os fatores que influem na sua formação e algumas técnicas utilizadas para identificar anéis verdadeiros.

Da medição dos raios das fatias, foram gerados os arquivos de dados com informações de controle das árvores e das dimensões dos raios. Posteriormente, esse arquivo de dados foi transformado, por meio do programa ANARC.EXE, num arquivo tipo NOME.DAT. Esse arquivo de dados transformado foi lido no programa ANATRON.EXE que realiza os cálculos dendrométricos por idade, gerando: diâmetro, altura, área basal, volume e os seus incrementos, além de fator de forma.

### **Crescimento em volume em função da idade para as três regiões fitogeográficas**

Para estudo do crescimento em volume em função da idade, foram utilizados os dados da análise de tronco, sendo testados todos e selecionado um dos modelos de regressão apresentados na Tabela 1.

### **Critério de seleção de equações**

Na seleção de equações, foi levado em consideração o coeficiente de determinação ajustado, erro-padrão da estimativa, coeficiente de variação e valor de F. Para a seleção da equação foi utilizado o valor ponderado desses escores estatísticos, atribuindo-se valores ou pesos às estatísticas calculadas. Nesse processo, as estatísticas foram ordenadas de acordo com sua eficiência, sendo atribuído peso 1 para a equação mais eficiente e pesos crescentes para as demais equações (ranking),

TABELA 1: Equações testadas para o crescimento do volume em função da idade.

TABLE 1: Fitted equations to volume growth in function of the age.

Equação	Modelo matemático	Autor
1	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot (1/t)$	Schumacker
2	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman
3	$\ln v = b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot \ln^2 t$	Backman modificada
4	$v = t^2 / e^{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan
5	$v = t^2 / e^{b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}$	Prodan modificada
6	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot (1/t) + b_2 \cdot \ln t$	Hoerl
7	$\ln v = b_0 + b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3$	Moissev
8	$\ln v = b_0 + b_1 \cdot \ln t + b_2 \cdot t$	Gram
9	$v = b_0 \cdot (1 - \exp(-b_1 t))^{b_2}$	Chapman-Richards
10	$k = A \cdot (1 - \exp(-k \cdot t))$	Mitscherlich

Em que:  $v$  = volume em  $m^3$  sem casca;  $t$  = idade;  $b_0, b_1, \dots$  = coeficientes das equações;  $\ln$  = logaritmo neperiano. Fonte: Loetsch *et al.* (1973); Mitscherlich e Sonntag (1982); Richards (1959); Prodan (1968); Kiviste *et al.* (2002).

conforme metodologia definida por Thiersch (1997).

O valor ponderado de uma equação é obtido pela multiplicação do número de vezes quantificado para cada colocação pelo seu respectivo peso, sendo expressa por:

$$VP = \sum_{i=1}^n Nr_i \cdot P_i$$

Sendo:  $P_i$  = peso da  $i$ ésima colocação;  $Nr_i$  = número de registros que obtiveram a  $i$ ésima colocação; VP = valor ponderado da equação.

A equação selecionada foi a que apresentou o menor valor ponderado dos escores estatísticos determinados.

Após a seleção da melhor equação para estimar o crescimento em volume por idade, para os dados obtidos na análise de tronco, foram geradas variáveis dummy que assumiram valores de 0 a 1, para cada região em que se localizavam as araucárias amostradas, como segue:

$D_i = 1$ , se a árvore estava presente na região/local  $i$ ;

$D_i = 0$ , se a árvore estava ausente nessa região/local  $i$ .

Com isso, foi possível expressar as regressões individuais ajustadas para as três ( $n$ ) regiões/locais que tem  $R^n$  funções lineares múltiplas, conforme

Schneider (1998):

$$R^1 : \hat{Y}_1 = b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1m}x_m$$

$$R^2 : \hat{Y}_2 = b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2m}x_m$$

$$R^3 : \hat{Y}_3 = b_{31}x_3 + b_{32}x_2 + \dots + b_{3m}x_m$$

Assim, todas as funções de regressão individuais foram expressas em função de uma regressão linear múltipla, chamada de modelo máximo, representada por:

$$R : \hat{Y} = b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + \dots + b_{1m}x_{1m} + b_{21}x_{21} + b_{22}x_{22} + \dots + b_{2m}x_{2m} + \dots + b_{s1}x_{s1} + b_{s2}x_{s2} + \dots + b_{sm}x_{sm}$$

Sendo:

$$X_{11} = D_1X_1; X_{12} = D_1X_2; \dots; X_{1m} = D_1X_m;$$

$$X_{21} = D_2X_1; X_{22} = D_2X_2; \dots; X_{2m} = D_2X_m;$$

$$X_{31} = D_3X_1; X_{32} = D_3X_2; \dots; X_{3m} = D_3X_m.$$

Para análise da existência de diferença no crescimento de volume em função da idade entre as regiões, foi determinado o valor de F calculado na análise de variância, obtido pelo programa estatístico SAS (Statistic Analysis System), conforme Freud e Littell (1985).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seleção da equação de crescimento em diâmetro para cada região fitogeográfica é apresentada por ordem, como segue:

### Seleção da equação de volume para a Serra do Sudeste

Os dados utilizados permitiram ajustar os modelos de crescimento em volume e analisar a precisão estatística de cada equação testada. Na Tabela 2, encontram-se os parâmetros estatísticos das equações ajustadas constantes na Tabela 1.

Os resultados mostram que, de uma forma geral, as equações de volume apresentaram alto coeficiente de determinação ajustado, com valores superiores a 0,71, coeficientes de variação entre -55,04% a 59,38 % e erro-padrão da estimativa pequeno, indicando pouca dispersão dos dados ao longo da linha de regressão.

De acordo com os parâmetros estatísticos, destacaram-se o modelo de Moissev (equação 7), que apresentou o maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9383, bem como baixo erro-padrão da estimativa de 0,4365, coeficiente de variação de -

33,85% e alto valor de F de 669,73; o modelo de Gram (equação 8), com valor de coeficiente de determinação ajustado de 0,9369; valor do erro-padrão da estimativa de 0,4415, coeficiente de variação de -34,23%; e, o modelo de Backman (equação 2), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9347, valor de F de 945,3, coeficiente de variação de -34,82%; e, erro-padrão da estimativa de 0,4490.

Em consequência de não haver uma definição clara sobre o melhor modelo foi determinado o método do Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP) para selecionar a equação para descrever o crescimento de volume em função da idade, conforme é mostrado na Tabela 3.

O critério do Valor Ponderado dos Escores Estatísticos (VP) das equações levou em consideração todas as variáveis estatísticas anteriormente descritas. Esse valor estatístico foi utilizado com o objetivo de sintetizar os resultados, facilitando a seleção do melhor modelo matemático. Assim, a melhor equação do crescimento em volume pelo critério do VP, foi a de número 8, definido pelo modelo de Gram, pois apresentou o menor valor, igual a 11 pontos, menor que o das demais equações testadas.

Com essa equação de Gram, equação 8, estimou-se os valores do volume, e pela diferença entre

TABELA 2: Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento do volume em função da idade, para Serra do Sudeste.

TABLE 2: Statistical parameters of the fitted equations to volume growth adjusting in function of the age in Serra do Sudeste.

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	1,5029	-65,839	-	-	0,9080	0,5328	-41,32	1304,1
2	-19,9227	8,3685	-0,8062	-	0,9347	0,4490	-34,82	945,31
3	-	-4,5281	1,2264	-	0,8934	0,7098	-55,04	558,28
4	11,1625	-0,1967	0,0025	-	0,7167	0,4447	5,64	167,99
5	-	0,5785	-0,0092	-	0,9321	2,0678	26,21	913,51
6	-6,6850	-27,680	1,9905	-	0,9313	0,4605	-35,71	895,78
7	-9,6360	0,5802	-0,012	0,00008	0,9383	0,4365	-33,85	669,73
8	-16,1326	5,1819	-0,0745	-	0,9369	0,4415	-34,23	980,21
9	2,4694	0,0588	7,9904	-	0,8399	0,3689	59,38	251,93

Em que: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

TABELA 3: Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações de crescimento em volume testadas.

TABLE 3: Considered value and the scores of the statistical parameters to fitted equations to volume growth.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	6	7	7	1	21
2	3	5	5	3	16
3	8	8	8	7	31
4	9	4	1	9	23
5	4	9	2	4	19
6	5	6	6	5	22
7	1	2	3	6	12
8	2	3	4	2	11
9	7	1	9	8	25

Em que:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro-padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

valores estimados e observados, obteve-se a Figura 2, referente a distribuição dos resíduos. Na Figura 2, pode-se observar que o modelo subestimou os valores para as maiores idades.

### Seleção da equação de volume para o Planalto Médio

Com os dados da análise de tronco, testou-se o mesmo conjunto de equações para a região do Planalto Médio. Os parâmetros estatísticos dos modelos podem ser vistos na Tabela 4.

Os resultados mostram que de uma forma geral, as equações de volume apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a 0,40 e coeficientes de variação entre -28,98 a 13,28% e erros-padrão da estimativa baixos.

De acordo com os parâmetros estatísticos,

destacam-se a equação de Prodan modificada (equação 5), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9824, bem como, um baixo erro-padrão da estimativa de 1,0216, coeficiente de variação de 13,28% e alto valor de F de 4.157,5, altamente significativo; o modelo de Backman modificado (equação 3), com valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9461, valor do erro-padrão da estimativa de 0,3512, coeficiente de variação de -28,98% e valor de F de 1308,3; e, o modelo de Moissev (equação 7), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9216, erro-padrão da estimativa de 0,2543, coeficiente de variação de -20,99% e valor de F de 580,7.

Para a escolha do melhor modelo de crescimento em volume em função da idade, foi determinado do Valor Ponderado do Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP), conforme a Tabela 5.

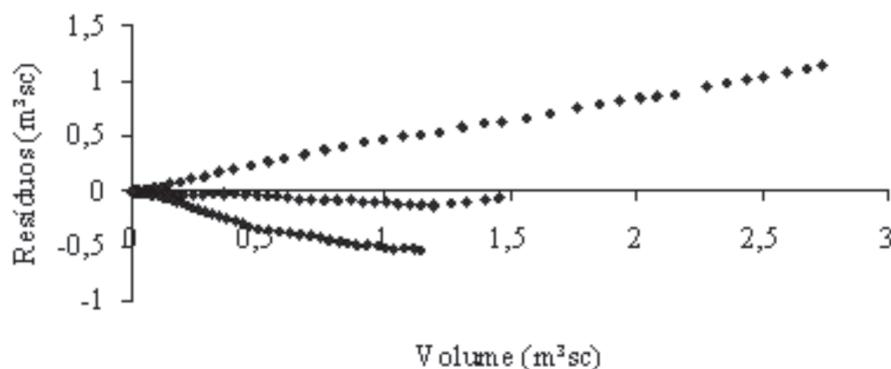


FIGURA 2: Distribuição dos resíduos da equação de volume de Gram.

FIGURE 2: Distribution of the residues of the equation of volume of Gram.

TABELA 4: Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função da idade, para o Planalto Médio.

TABLE 4: Statistical parameters of the fitted equations to volume growth adjusting in function of the age in Planalto Médio.

Equação	Coeficientes				R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>				
1	1,0936	-55,2107	-	-	0,9147	0,2652	-21,85	1588,7
2	-19,4181	9,0275	-1,0397	-	0,9177	0,2605	-21,50	826,3
3	-	-3,3259	0,9008	-	0,9461	0,3512	-28,98	1308,3
4	9,5921	-0,5371	0,0022	-	0,4036	0,2534	3,29	51,07
5	-	0,5972	-0,0106	-	0,9824	1,0216	13,28	4157,5
6	-1,1342	-43,4171	0,5356	-	0,9154	0,2641	-21,79	802,2
7	-6,5875	0,3392	-0,0053	0,00002	0,9216	0,2543	-20,99	580,7
8	-13,9347	4,6853	-0,0908	-	0,9196	0,2575	-21,25	847,6
9	2,2859	0,0116	0,045	-	0,7926	0,2289	1,9076	277,4
10	10,5153	0,0014	-	-	0,8637	0,1855	1,4267	460,4

Em que: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro-padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância; b<sub>0</sub>, b<sub>1</sub>, b<sub>2</sub>, b<sub>3</sub> = coeficientes.

TABELA 5: Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações de crescimento em volume testadas.

TABLE 5: Considered value and the scores of the statistical parameters to fitted equations to volume growth.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	R <sup>2</sup> <sub>Aj.</sub>	S <sub>yx</sub>	CV%	F	
1	7	8	8	2	25
2	5	6	7	5	23
3	2	9	10	3	24
4	10	5	3	10	28
5	1	10	4	1	16
6	6	7	9	6	28
7	3	3	5	7	18
8	4	4	6	4	18
9	9	2	2	9	22
10	8	1	1	8	18

Em que: R<sup>2</sup><sub>Aj.</sub> = coeficiente de determinação ajustado; S<sub>yx</sub> = erro-padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

Pelo critério do VP, o modelo de Prodan modificado (equação 5) foi o melhor, pois apresentou o menor valor ponderado, igual a 16 pontos, alto valor do coeficiente de determinação ajustado e baixo erro-padrão da estimativa. Com o ajuste dessa equação, estimou-se os valores de volume, e, pela diferença entre os valores estimados e valores observados, gerou-se a Figura 3 referente à distribuição dos resíduos. Nota-se uma dispersão dos resíduos proporcional a idade, o que denota um bom ajuste da equação.

### Seleção da equação de volume para Encosta Superior do Nordeste

Na Tabela 6, são apresentados os resultados estatísticos das equações, conforme Tabela 1, para ajustar o crescimento de volume em função da idade na região da Encosta Superior do Nordeste.

Os resultados mostram que, de forma geral, as equações de volume apresentaram altos coeficientes de determinação ajustados, com valores superiores a

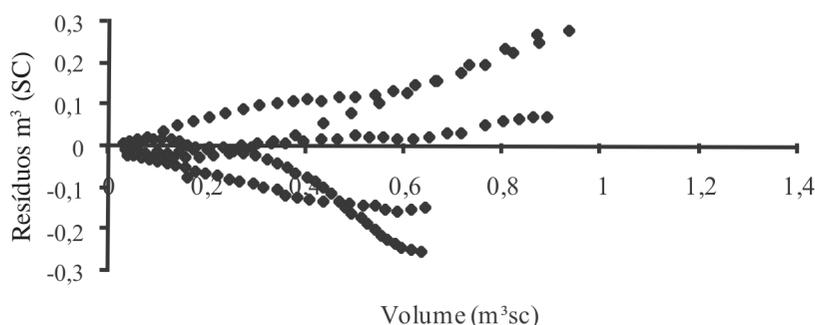


FIGURA 3: Distribuição dos resíduos da equação de volume de Prodan modificada.

FIGURE 3: Distribution of the residues of the equation of volume of modified Prodan.

TABELA 6: Parâmetros estatísticos das equações testadas para ajustar o crescimento em volume em função da idade, para Encosta Superior do Nordeste.

TABLE 6: Statistical parameters of the fitted equations to volume growth adjusting in function of the age for Encosta Superior do Nordeste.

Equação	Coeficientes				$R^2_{Aj.}$	$S_{yx}$	CV%	F
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$				
1	1,1777	-49,1151	-	-	0,9287	0,2506	-29,87	2799,3
2	-14,6345	6,4079	-0,6612	-	0,9365	0,2364	-28,18	1587,3
3	-	-2,8875	0,7904	-	0,9293	0,3343	-39,85	1420,2
4	8,4367	-0,0753	0,0012	-	0,2440	0,2365	3,19	35,69
5	-	0,5415	-0,0089	-	0,9771	1,1195	15,13	4617,6
6	-2,8806	-27,9695	0,9724	-	0,9354	0,2384	-28,42	1558,4
7	-6,3883	0,3954	-0,0087	0,000069	0,9374	0,2348	-27,99	1073,8
8	-11,0834	3,6073	-0,0554	-	0,9371	0,2353	-28,05	1602,3
9	2,3607	0,0124	0,03	-	0,9038	0,2161	1,66	1044,7
10	6,6348	0,0027	-	-	0,8802	0,2427	1,86	816,4

Em que:  $R^2_{Aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro-padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância;  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  = coeficientes.

0,24 e coeficientes de variação entre -39,85 a 15,13% e erros-padrão da estimativa pequenos.

De acordo com os parâmetros estatísticos, destacam-se a equação de Prodan modificada (equação 5), que apresentou maior coeficiente de determinação ajustado de 0,9771, bem como, baixo erro-padrão da estimativa de 1,1195, coeficiente de variação de 15,13% e valor de F de 4617,6, altamente significativo; o modelo de Moissev (equação 7), com valor do coeficiente de determinação ajustado de 0,9374, valor do erro-padrão da estimativa de 0,2348, coeficiente de variação de -27,99%, valor de F de 1073,8; e, o modelo de Gram (equação 8), com coeficiente de determinação ajustado de 0,9371, erro-padrão da estimativa de 0,2353, coeficiente de

variação de -28,05% e valor de F de 1602,3, altamente significativo.

Para escolha do melhor modelo de crescimento em volume em função da idade foi determinado o Valor Ponderado dos Escores dos Parâmetros Estatísticos (VP), conforme a Tabela 7. Pelo critério do VP o modelo de Gram (equação 8) foi a melhor, pois apresentou o menor valor ponderado, igual a 15 pontos, aliado a um alto valor do coeficiente de determinação ajustado e baixo erro-padrão da estimativa.

Na Figura 4, pode-se observar a distribuição dos resíduos, que apresentaram pouca dispersão, indicando bom ajuste da equação de volume em função da idade.

TABELA 7: Valor ponderado dos escores dos parâmetros estatísticos das equações de crescimento em volume testadas.

TABLE 7: Considered value of the scores of the statistical parameters to fitted equations to volume growth.

Equação	Escore dos Parâmetros Estatísticos				Valor Ponderado
	$R^2_{Aj}$	$S_{yx}$	CV%	F	
1	6	8	9	2	27
2	4	4	7	4	19
3	7	9	10	6	32
4	10	5	3	10	28
5	1	10	4	1	16
6	5	6	8	5	24
7	2	2	5	7	16
8	3	3	6	3	15
9	8	1	1	8	18
10	9	7	2	9	27

Em que:  $R^2_{Aj}$  = coeficiente de determinação ajustado;  $S_{yx}$  = erro-padrão da estimativa; CV% = coeficiente de variação em %; F = valor de F da análise de variância.

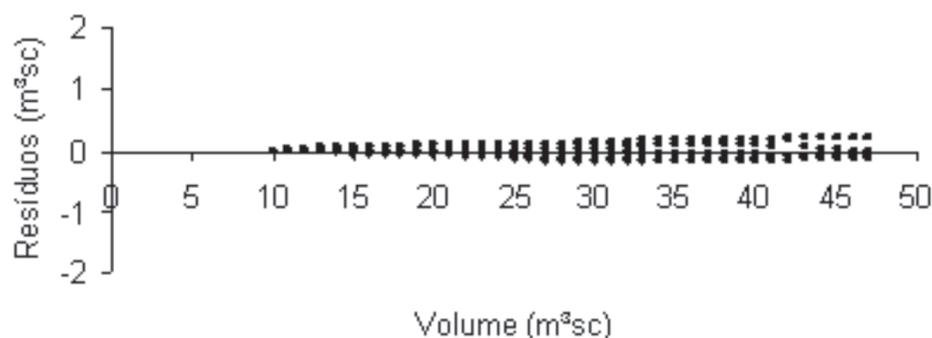


FIGURA 4: Dispersão dos resíduos para a equação de volume de Gram.

FIGURE 4: Distribution of the residues of the equation of volume of Gram.

**Análise comparada do crescimento em volume nas regiões fitogeográficas estudadas**

Com as equações de volume ajustadas, foram estimados os valores de volume no tempo e geradas as curvas de crescimento de volume em função da idade para as três regiões, conforme dados da Tabela 8 e Figura 5.

Na Figura 5, observa-se o padrão sigmoidal de crescimento em volume, o qual aumenta lentamente no início, depois rapidamente e após a taxa de crescimento vai diminuindo. Pode-se notar que no aspecto volume a araucária tem comportamento de crescimento semelhante para as regiões em estudo, ocorrendo diferenciação somente nas idades mais avançadas. Passo Fundo e Caçapava do Sul, até os 32 anos de idade, apresentam praticamente o mesmo comportamento, enquanto, para Canela, ocorre maior

crescimento em volume neste período. A partir dos 40 anos, em Caçapava do Sul, há uma diferenciação do crescimento, sendo visivelmente maior. Segundo Odum (1988), esse é o ponto limite superior de crescimento, além do qual não ocorre nenhum aumento importante. Essa assíntota superior é chamada de capacidade máxima de suporte.

Passo Fundo e Canela possuem curvas semelhantes, paralelas, de crescimento, diferindo apenas no seu ritmo, o qual foi maior em Canela. O culmínio do Incremento Médio Anual, isto é, maximização do crescimento em volume, ocorreu primeiro na Encosta Superior do Nordeste, aos 48 anos, após no Planalto Médio, aos 49 anos e, posteriormente, na Serra do Sudeste, aos 58 anos.

Esse culmínio, anterior nas duas regiões, deve-se a aspectos físicos e condições bióticas da região, como: altitude, conteúdo nutricional do solo,

TABELA 8: Estimativa do crescimento em volume por idade na Serra do Sudeste, Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste.

TABLE 8: Volume growth estimative for age in Serra do Sudeste, Planalto Médio and Encosta Superior do Nordeste.

Idade (ano)	Serra do Sudeste			Planalto Médio			Encosta Superior do Nordeste		
	V	IMA	ICA	V	IMA	ICA	V	IMA	ICA
2	3,1E-06	1,2E-06	-	1,54-06	5,83-07	-	8,38E-05	-	-
4	9,6E-05	2,4E-05	9,33E-05	0,0001	3,40E-05	0,0001	0,0018	0,0005	0,0017
6	0,0007	0,0001	0,0006	0,0014	0,0002	0,0013	0,0071	0,0012	0,0052
8	0,0026	0,0003	0,0019	0,0058	0,0007	0,0045	0,0179	0,0022	0,0108
10	0,0071	0,0007	0,0045	0,0159	0,0016	0,0100	0,0357	0,0036	0,0179
12	0,0158	0,0013	0,0087	0,0332	0,0028	0,0173	0,0618	0,0051	0,0260
14	0,0302	0,0022	0,0144	0,0587	0,0042	0,0255	0,0964	0,0069	0,0346
16	0,0520	0,0032	0,0218	0,0925	0,0058	0,0337	0,1397	0,0087	0,0433
18	0,0824	0,0046	0,0305	0,1338	0,0074	0,0414	0,1913	0,0106	0,0515
20	0,1226	0,0061	0,0402	0,1818	0,0091	0,0480	0,2504	0,0125	0,0591
22	0,1731	0,0079	0,0505	0,2351	0,0107	0,0533	0,3160	0,0144	0,0657
24	0,2341	0,0098	0,0610	0,2925	0,0122	0,0574	0,3872	0,0161	0,0712
26	0,3054	0,0117	0,0713	0,3527	0,0136	0,0601	0,4626	0,0178	0,0754
28	0,3863	0,0138	0,0809	0,4144	0,0148	0,0617	0,5410	0,0193	0,0784
30	0,4759	0,0159	0,0896	0,4765	0,0159	0,0622	0,6211	0,0207	0,0801
32	0,5729	0,0179	0,0970	0,5383	0,0168	0,0618	0,7017	0,0219	0,0806
34	0,6758	0,0199	0,1029	0,5988	0,0176	0,0605	0,7816	0,0230	0,0799
36	0,7830	0,0217	0,1072	0,6575	0,0183	0,0587	0,8599	0,0239	0,0782
38	0,8927	0,0235	0,1098	0,7138	0,0188	0,0563	0,9354	0,0246	0,0756
40	1,0034	0,0251	0,1106	0,7674	0,0192	0,0535	1,0075	0,0252	0,0721
42	1,1131	0,0265	0,1098	0,8178	0,0195	0,0505	1,0754	0,0256	0,0679
44	1,2205	0,0277	0,1074	0,8651	0,0197	0,0472	1,1385	0,0259	0,0631
46	1,3240	0,0288	0,1035	0,9089	0,0198	0,0439	1,1963	0,0260	0,0578
48	1,4222	0,0296	0,0982	0,9493	0,0198	0,0404	1,2486	0,0260	0,0522
50	1,5140	0,0303	0,0918	0,9863	0,0197	0,0369	1,2949	0,0259	0,0464
52	1,5984	0,0307	0,0844	1,0198	0,0196	0,0335	1,3353	0,0257	0,0403
54	1,6747	0,0310	0,0762	1,0500	0,0194	0,0302	1,3695	0,0254	0,0343
56	1,7421	0,0311	0,0674	1,0768	0,0192	0,0269	1,3977	0,0250	0,0282
58	1,8003	0,0310	0,0582	1,1006	0,0190	0,0237	1,4200	0,0245	0,0222
60	1,8490	0,0308	0,0487	1,1212	0,0187	0,0207	1,4364	0,0239	0,0164

Em que: DAP = diâmetro à altura do peito em centímetro; IMA = incremento médio anual em volume por ano; ICA = incremento corrente anual em volume por ano.

precipitação, etc. Enquanto, na Serra do Sudeste, a araucária, pode ter enfrentado competição e concorrência nos estágios iniciais do seu desenvolvimento, mas que foram superados após seu estabelecimento, mostrando uma acentuada inclinação da curva de crescimento no período jovem, dos 25 aos 40 anos, o que denota a capacidade e o potencial de crescimento da espécie.

Com os valores do incremento médio e corrente anual em volume por idade da Tabela 8, foi gerada a Figura 6, na qual se observa que o máximo incremento médio anual em volume foi de 0,0031 m<sup>3</sup>, aos 58 anos, na Serra do Sudeste; no Planalto Médio de 0,0198 m<sup>3</sup>, aos 49 anos; e, na Encosta Superior do Nordeste de 0,026m<sup>3</sup>, aos 48 anos de idade, indicando serem estas as idades de

maximização do crescimento em volume da araucária, nestas regiões estudadas.

#### **Análise comparada do crescimento em volume com variável dummy**

Este estudo foi realizado com o objetivo de selecionar uma equação única de crescimento em volume em função da idade, com o uso de variáveis dummy, para *Araucaria angustifolia*, nas regiões da Serra do Sudeste (dummy 1), Planalto Médio (dummy 2) e Encosta Superior do Nordeste (dummy 3). Para cada região, ocorreu ajuste de diferentes equações para estudo do crescimento. Sendo assim, optou-se pelo uso da equação de Backman, pois sua utilização mostrou-se eficiente para emprego em variáveis

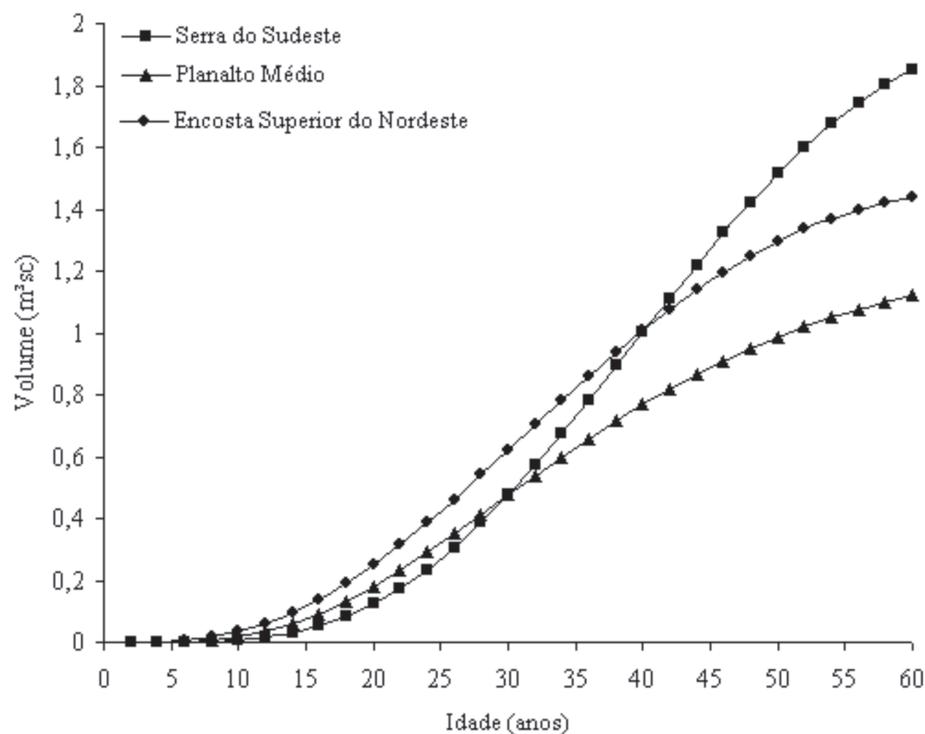


FIGURA 5: Crescimento em volume para *Araucaria angustifolia* na Serra do Sudeste, Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste.

FIGURE 5: Volume growth of *Araucaria angustifolia*, in Serra do Sudeste, Planalto Médio and Encosta Superior do Nordeste.

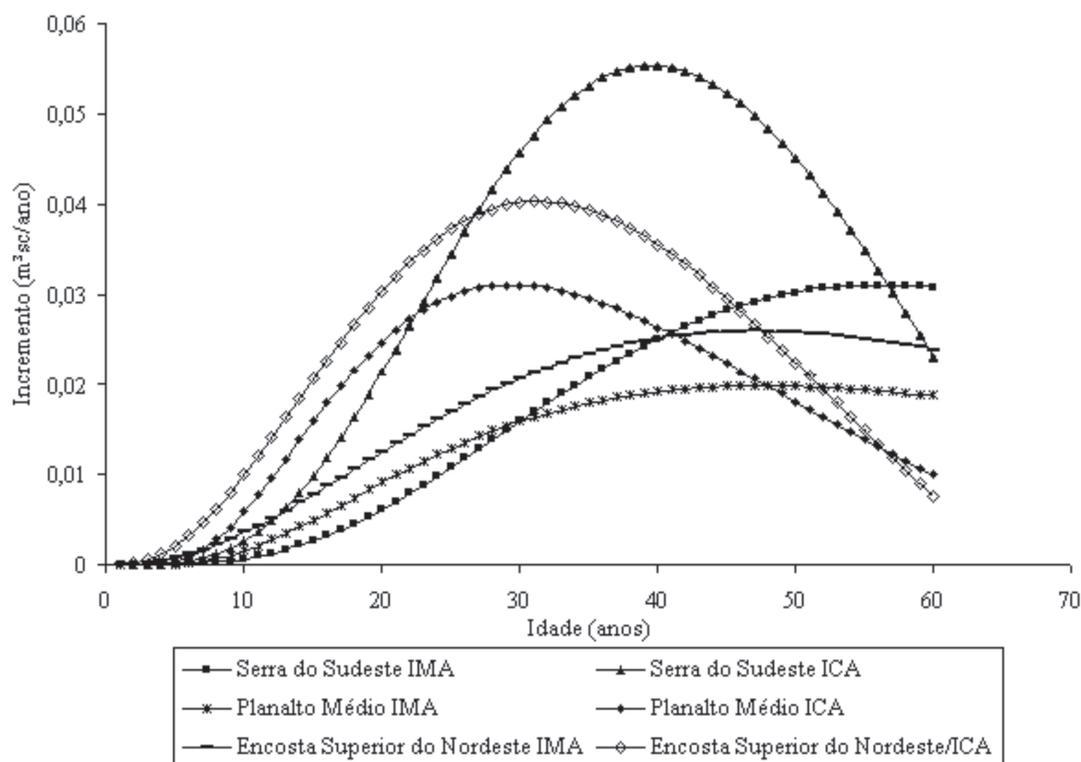


FIGURA 6: Incremento médio e corrente anual em volume por idade para *Araucaria angustifolia*, na Serra do Sudeste, Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste.

FIGURE 6: Middle increase and annual current in volume for age, *Araucaria angustifolia*, in Serra do Sudeste, Planalto Médio and Encosta Superior do Nordeste.

TABELA 9: Análise de variância e parâmetros estatísticos do ajuste da equação de Backman com variável dummy para crescimento em volume em função da idade da *Araucaria angustifolia*.

TABLE 9: Variance analysis and statistical parameters of Backman equation adjusting with dummy variable to volume growth in function of the age for *Araucaria angustifolia*.

FV	GL	SQ	QM	F	Pr>F
Modelo	6	615,3434	102,5772	1074,9	0,0001
Ln(t)	1	558,4564	558,4564	5853,1	0,0001
ln <sup>2</sup> (t)	1	12,7873	12,7873	134,0	0,0001
D1	1	8,0564	8,0564	84,4	0,0001
D2	1	7,7002	7,7002	80,7	0,0001
D3	0	0	0	-	-
ln(t) x D1	1	26,8849	26,8849	281,8	0,0001
ln(t) x D2	1	1,4579	1,4579	15,28	0,0001
ln(t) x D3	0	0	0	-	-
Erro	495	47,2293	0,0954	-	-
Total	501	662,5726	-	-	-

Em que: ln = logaritmo neperiano; t = idade em anos; D1; D2; D3 = variáveis dummy 1, 2 e 3; FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F calculado;  $P_{orb} > F$  = nível de significância de F.

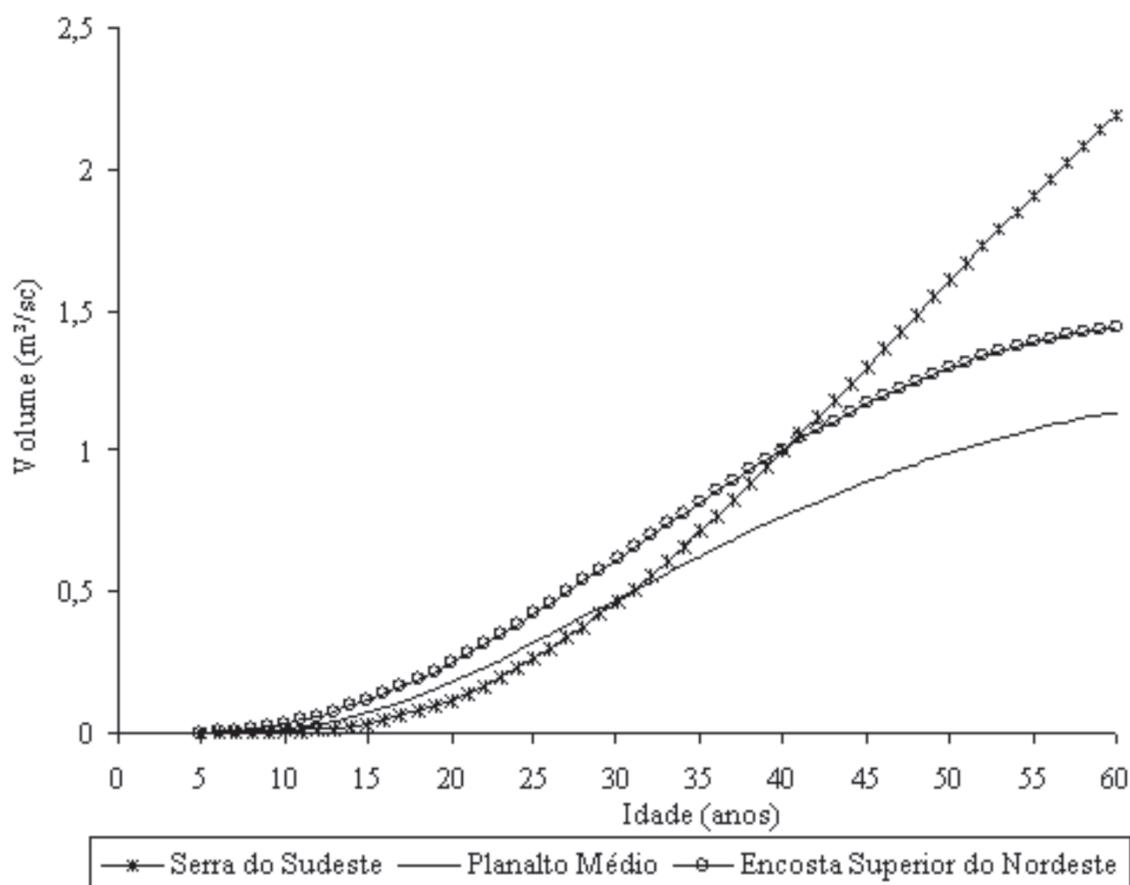


FIGURA 7: Valores de volume estimados pela equação de Backman, com variáveis dummy, em função da idade, Serra do Sudeste (D1), Planalto Médio (D2) e Encosta Superior do Nordeste (D3).

FIGURE 7: Volume values by Backman's equation fitted with dummy variables in function of the age, in Planalto Médio (D2), Encosta Superior do Nordeste (D3) and Serra do Sudeste (D1).

dummy, a qual permitiu identificar diferenças no crescimento para as regiões estudadas, indicando a necessidade de ajustar equações de crescimento em separado para cada local, minimizando erros de estimativa.

Após a inclusão de variáveis dummy, a equação de Backman foi reajustada, sendo os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 9. A análise da variância indicou que todas as variáveis independentes do modelo máximo foram significativas, com altos valores de F calculado, denotando existir diferenças no crescimento em volume em função da idade entre as regiões estudadas. Observa-se também que há diferença no ritmo de crescimento da espécie na Serra do Sudeste, o que é constatado pela significância na interação entre a idade X dummy 1, com probabilidade  $< 0,0001$ ; o que, também, ocorreu no Planalto Médio, com significância da interação entre a idade X dummy 2, com probabilidade  $< 0,0001$ , representado pela diferença angular da função de crescimento.

Após essa análise, foram recalculados os coeficientes da equação com variável dummy, apenas com as regiões que foram significativas na análise de variância. Sendo o modelo genérico final para estimar o crescimento em volume em função da idade para as três regiões estudadas, representado por:

$$\ln v = -17,7437 + 8,5343 \cdot \ln(t) - 1,0162 \cdot \ln^2(t) - 4,7619 \cdot D1 - 1,4298 \cdot D2 + 1,3152 \cdot \ln(t) \cdot D1 + 0,3412 \cdot \ln(t) \cdot D2$$

Essa equação de crescimento de Backman, com variáveis dummy, apresentou bom ajuste, com valor de coeficiente de determinação de 0,9287, valor de coeficiente de variação de -29,63% e baixo valor de erro-padrão da estimativa de 0,3061, mostrando-se altamente significativa.

Com esse modelo máximo obtido, foram gerados e plotados os volumes em função da idade, no qual se podem observar diferenças no crescimento em volume para as três regiões estudadas, conforme Figura 7.

Na Figura 7, observa-se que a variável volume demonstrou agrupamento dos dados nas idades iniciais, sendo que para essas idades a *Araucaria angustifolia*, apresenta o mesmo padrão de crescimento, não diferindo muito de um local para outro, o que pode ser explicado pela dificuldade inicial, isto é, até que ocorra o estabelecimento da espécie. Após esse período, (depois dos 15 anos), ocorre a diferenciação no crescimento em volume. Caçapava do Sul, demonstra uma curva mais acentuada, crescimento inicial mais lento, indicando competição,

porém, ultrapassando as demais regiões no futuro.

## CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos para estimar o crescimento em volume em função da idade da *Araucaria angustifolia*, pode-se concluir que os parâmetros estatísticos indicam os modelos de Gram, Prodan modificada e Gram, como as mais precisas, para estimar o crescimento em volume por idade na Serra do Sudeste, Planalto Médio e Encosta Superior do Nordeste respectivamente.

A equação de crescimento de Backman, com variável dummy, mostrou-se eficiente e permitiu ajustar, simultaneamente, as diferenças de crescimento em volume no tempo existentes entre as três regiões estudadas, que indicou a necessidade do ajuste de equações separadas para cada região, para minimizar erros de estimativa do crescimento.

Os resultados obtidos demonstram que o incremento médio anual máximo em volume foi 0,0311 m<sup>3</sup>, aos 56 anos na Serra do Sudeste; de 0,0198 m<sup>3</sup> aos 46 anos no Planalto Médio; e, de 0,026 m<sup>3</sup> aos 48 anos de idade na Encosta Superior do Nordeste, denotando-se um bom potencial de crescimento médio em volume, indicativo de potencial de investimento nas regiões estudadas.

O crescimento comparado para o conjunto das regiões demonstrou que *Araucaria angustifolia* possui mesmo padrão de crescimento (forma sigmóide da curva), nos três locais estudados, podendo-se cultivá-la com expectativa de retorno econômico. Serra do Sudeste, em seu primeiro estudo, apresenta semelhança de crescimento para araucária, que os demais locais anteriormente estudados, indicando ser espécie de ocorrência natural.

A análise de covariância comprovou que para os três locais, na variável volume, a hipótese de inclinação e de nível é rejeitada, demonstrando haver diferença significativa na capacidade produtiva em crescimento para araucária.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DANIEL, T. W., HELMS, J. A., BAKER, F. **Principles of silviculture**. New York: Mc Graw-Hill, 1979, 500 p.
- DAVIS, K. P. **Forest management, regulation and evaluation**. New York: Mc Graw Hill, 1966, 519 p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Brasília: EMBRAPA. 1999. 412 p.
- FREUND, R. J.; LITTELL, R. C. **SAS for linear models: A guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary. NC:

- SAS Institute. 1985. 230 p.
- GUADAGNIN, D. L.; LAROCCA, J.; SOBRAL, M. Flora vascular de interesse para a conservação da bacia do arroio João Dias: avaliação ecológica rápida. In: RONCHI, L. R.; LOBATO, A. O. C. (Orgs.). **Minas do Camaquã**. São Leopoldo: Unisinos, 2000 p.71-84.
- IPAGRO. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1989. v.3.
- JONAS, L. O. **Emprego de geoprocessamento no estudo da relação entre potencial produtivo de um povoamento de eucalipto e atributos do solo e relevo**. 2003. 220 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- KIVISTE *et al.* (2002). **Funciones de crecimiento de aplicación en el ámbito forestal**. Madrid: Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. 2002. 190 p.
- LOETSCH, F.; ZOHER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory**. Berlin: BLV, 1973. 469 p. v.2.
- MITSCHERLICH, G.; SONNTAG, G. Paperversuche: Modell für eine regenerata und Neuputz-papel-ertragstafel im Oberheingebiet. **Allg. Forst und Jg.** n.153, p. 213-219. 1982.
- MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41 p.
- ODUM. E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 434 p.
- PRODAN, M. **Forest biometrics**. New York: Pergamon Press. 1968. 447 p.
- RICHARDS, F. J. A flexible growth function for empirical use. **J. Agr. Pres.** v. 46, n. 7, p. 62-638, Jan./Feb.1959.
- SAS INSTITUTE. **SAS Procedures Guide, version 6.12**: Software de análise estatística (software). 3 ed. Cary, NC: SAS Institute, 1993, 1022 p.
- SCHNEIDER, P. R.; BRENA, D. A.; FINGER, C. A. **Manual para coleta de informações dendrométricas**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC. 1988. 28 p.
- SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2 ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 1998.
- SCHWEINBRUGER, F. H. **Tree rings and environment dendroecology**. Viena: Haupt. 1996. 609 p.
- TEIXEIRA *et al.* Vegetação. As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico. In: **Levantamento de recursos naturais**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1986, p.541-632. v.33.
- THIERSCH, A. **Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis***. 1997. 155 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.
- VELOSO, H. P.; GÓES FILHO, L. Fitogeografia brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. **Boletim Técnico Projeto Radambrasil, Série Vegetação** v.1, p.1-80, 1982.
- TONINI, H.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. O crescimento de *Nectandra megapotamica* Mez. em floresta nativa na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n. 1, p.85-90, jan./fev. 2003.
- UFSM/SEMA-RS. **Inventário florestal contínuo do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM/SEMA-RS, 2001. Disponível em: <<http://coralx.ufsm.br/ifcrs/>>. Acesso em: 29/07/2005.
- OLIVER, C. D.; LARSON, B. C. **Forest stand dynamics, update edition**. New York: John Wiley, 1996. 520 p.