



Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

editorgeral@agraria.pro.br

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Brasil

Costa, Emanuel A.; Finger, César A. G.; da Cunha, Thiago A.  
Influência da posição sociológica na relação hipsométrica de Araucaria angustifolia  
Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 9, núm. 1, 2014, pp. 110-116  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119030125019>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Influência da posição sociológica na relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia*

Emanuel A. Costa<sup>1</sup>, César A. G. Finger<sup>1</sup> & Thiago A. da Cunha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Ciências Florestais, Campus Universitário - Prédio 44-B, Camobi, CEP 97105900, Santa Maria-RS, Brasil. E-mail: emanuelamonicost@hotmail.com; cesarfinger.ufsm@outlook.com

<sup>2</sup> Universidade Federal do Acre, Centro de Ciências Biológicas e da Natureza, Curso de Engenharia Florestal, BR 364, Km 04, Distrito Industrial, CEP 69920-900, Rio Branco-AC, Brasil. E-mail: etsfor@yahoo.com.br

### RESUMO

A influência da posição social das árvores, classificada em: dominante, codominante e dominada, sobre o desenvolvimento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em remanescente florestal nativo, foi investigada em uma amostra aleatória de 294 árvores localizada no município de Lages, SC. Cinco modelos hipsométricos foram ajustados por análise de regressão sendo selecionado o modelo de Michailoff para descrever a relação hipsométrica nas classes sociais. A análise de covariância identificou diferenças de nível e inclinação das curvas, indicando o emprego de equações distintas para minimizar o erro de estimativa. A relação hipsométrica descrita por único modelo com variável Dummy (D1) para árvores codominantes e (D2) para as árvores dominadas, apresentou um  $R^2aj$  de 0,7008 e Syx% de 12,77%.

**Palavras-chave:** biometria florestal, curva h/d, floresta ombrófila mista

### *Influence of social position on the hypsometric relationship of Araucaria angustifolia*

### ABSTRACT

The influence of the social position classified in: dominant, co-dominant and dominated on the development of the hypsometric relationship of *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze in remnant native forest was studied in a random sample of 294 trees localized in Lages, SC. Five hypsometric models were fitted by regression analysis, and the Michailoff model was selected to describe the hypsometric relationship by social classes. Covariance analysis identified differences in the level and slope of the curves, justifying the use of different equations to minimize the error estimation. The hypsometric relationship described by a unique model with Dummy variable (D1), for co-dominant trees and (D2) for the trees dominated, presented a  $R^2aj$  of 0.7008 and Syx% of 12.77%.

**Key words:** forest biometric, h/d curve, rainforest

## Introdução

Após o diâmetro à altura do peito a altura se constitui em outro importante atributo obtido por medição ou estimativa na árvore. A informação sobre a relação entre a altura e o diâmetro das árvores é utilizada principalmente para estimativa do volume e na avaliação da altura dominante (Jayaraman & Lappi, 2001), além do uso no desenvolvimento em modelos de crescimento e na produção no povoamento florestal (Calama & Montero, 2004).

Consequentemente, a altura é uma variável importante que, muitas vezes, não é medida em todas as árvores durante a execução de inventários florestais (Sánchez-González et al., 2007), visto que se necessita, para sua determinação, de maior tempo de medição elevando o custo do inventário florestal (Schmidt et al., 2011).

Uma opção é obter a altura com o uso de modelos matemáticos os quais descrevem a associação entre a altura e o diâmetro, denominada relação hipsométrica. Em geral, o ajuste usa técnicas de análise de regressão com dados provenientes de um grupo de árvores da unidade amostral utilizando-se critérios estatísticos o modelo ideal é selecionado para estimar a altura das demais árvores.

Um aumento da acurácia na determinação da altura das árvores pode ser alcançado com o desenvolvimento de modelos hipsométricos em escala regional (Huang et al., 2000; Peng et al., 2004), além de reduzir custos de aquisição de dados em inventários regionais (Adame et al., 2008).

No processo de modelagem a distribuição dos valores observados evidencia frequentemente o aumento da variabilidade da altura com o aumento do diâmetro das árvores. Esta variação é bastante influenciada pela posição social da árvore quando se considera um local restrito como uma unidade amostral. Desta maneira, conhecer e estratificar os fatores que influenciam, em maior ou menor grau, a relação h/d permite descrever a variação existente para a espécie, idade, densidade, posição sociológica, peso de desbaste, tamanho de copa e sítio (Husch et al., 2003; Bartoszeck et al., 2004).

Em plantios florestais a relação hipsométrica para uma mesma espécie em diferentes sítios mostra curvas com inclinações semelhantes mas com níveis diferentes. Esta observação foi confirmada em povoamentos de *Acacia mearnsii* (Finger et al., 2000) e *Araucaria angustifolia* (Figueiredo-Filho et al., 2010). Nesta condição a existência de um coeficiente angular comum (curvas de regressão com mesma inclinação), permite estimar o valor do intercepto da curva de regressão e obter uma curva específica para o local (Pretzsch, 2009).

Apesar da variedade de estudos já realizada, pouca atenção foi dada à influência da posição social no ajuste dos modelos; então, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da posição social de árvores de *Araucaria angustifolia* sobre o desenvolvimento da relação hipsométrica e o ajuste de modelo matemático para descrever esta relação.

## Material e Métodos

### Área de estudo

A floresta amostrada localiza-se numa propriedade particular com 84 hectares de floresta nativa geograficamente

compreendida nas coordenadas 27° 48' e 50° 19', no município de Lages, SC. O clima da região é mesotérmico úmido (1360 a 1600 mm), sem estação seca definida (Cfb), com temperatura média anual entre 13,8 a 15,8 °C e umidade relativa de 80% (Epagri, 2002). Os solos Cambissolo Húmico e Terra Bruna Estruturada são os mais disseminados no domínio desta unidade (Embrapa, 2004).

### Levantamento dos dados

O total de 294 árvores denominadas objetivo, foi distribuído nas diferentes classes de diâmetro selecionadas de forma aleatória na área de estudo. Em cada árvore objetivo o diâmetro à altura do peito (d) foi medido com fita diamétrica e a altura (h) com o hipsômetro Vertex IV, seguido da definição das árvores competidoras e a classificação quanto à posição social.

As árvores competidoras foram definidas pelo critério silvicultural; somente as árvores posicionadas ao redor da árvore objetivo e que exercessem concorrência efetiva foram consideradas avaliando-se sua dimensão de copa e altura na capacidade de concorrer com a árvore objetivo, conforme a metodologia definida por Soligo (2009). A classificação da posição sociológica das árvores objetivo baseou-se na sua disposição no estrato vertical da floresta e na presença de árvores circunvizinhas competidoras, bem como o respectivo grau de exposição da copa à luz em: árvore dominante - ocupava o estrato superior com alta exposição da copa à luz (PS1); árvore codominante - ocupava o estrato intermediário com média exposição da copa à luz (PS2) e árvore dominada - posicionada no estrato inferior com baixa exposição da copa à luz solar (PS3) (Costa, 2011).

### Seleção dos modelos

Para descrever a relação hipsométrica foram selecionados e testados cinco modelos de regressão (Tabela 1).

A escolha da melhor equação foi feita com a utilização dos parâmetros estatísticos de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), critério de informação de Akaike (AIC) e análise de resíduos. Em adição a essa análise convencional os desvios e a precisão das equações foram avaliados conforme a metodologia empregada por Palahí et al (2002).

#### 1. Tendência absoluta (Bias):

**Tabela 1.** Modelos avaliados para ajustar a relação hipsométrica com e sem estratificação por posição sociológica em árvores de araucária na floresta nativa

Equação	Modelo	Autor
1	$h_i = 1,3 + \beta_0 d_i^{\beta_1} + \varepsilon_i$	Alométrica
2	$h_i = 1,3 + \beta_0 \exp(-\beta_1/d_i) + \varepsilon_i$	Michailoff
3	$h_i = 1,3 + \beta_0 (1 - \exp^{-\beta_1 d_i}) + \varepsilon_i$	-
4	$h_i = 1,3 + \exp^{\beta_0 \ln(d_i) + \beta_1 \ln^2(d_i)} + \varepsilon_i$	Korsun
5	$h_i = 1,3 + (d_i/\beta_0 + \beta_1 d_i)^3 + \varepsilon_i$	Petterson

Em que:  $h_i$ =altura total da i-ésima árvore;  $d_i$ =diâmetro à altura do peito da i-ésima árvore;  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ : são parâmetros dos modelos;  $\varepsilon_i$  = erro residual da i-ésima árvore;  $\ln$ =logaritmo natural. Fonte: Huang et al.(2000); Pretzsch (2009).

$$\text{BIAS} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

2. Desvio padrão residual (S):

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / n - 1}$$

3. Desvio médio (D):

$$D = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i / y_i) / n$$

A seleção da melhor equação para descrever a relação hipsométrica foi feita pela adoção de um ranking, conforme metodologia adotada por Thiersch (1997). Neste método se quantificaram o número de vezes em que cada equação assumiu a primeira colocação de acordo com o maior valor de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2\text{aj.}$ ) e os menores valores para o erro padrão da estimativa em porcentagem (Syx%), critério de informação de Akaike (AIC), tendência absoluta (BIAS), valor de desvio padrão residual (S) e desvio médio (D). A primeira colocação recebeu peso zero, a segunda peso 1 e as demais receberam pesos na sequência 2, 3, ...n.

Multiplicando o número de vezes quantificado para cada colocação pelo seu respectivo peso, obtém-se o valor ponderado. A equação selecionada foi a que apresentou o menor valor ponderado.

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

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

#### Análise de covariância e regressão com Dummy

Após a seleção da melhor equação comum para estimar a relação hipsométrica nas três posições sociais realizou-se a linearização da equação e se procedeu à análise de covariância e regressão com variável Dummy, permitindo avaliar o efeito da posição social no desenvolvimento desta relação no que se refere ao nível e inclinação das curvas ajustadas. A variável Dummy (D1) representou árvores da classe social codominante e a Dummy (D2) as árvores dominadas nos

modelos individuais, conforme definido por Schneider et al. (2009). Este resultado permitiu investigar a possibilidade de expressar os modelos individuais por um modelo linear múltiplo denominado Regressão Máxima.

A identificação da colinearidade da estimativa dos coeficientes de regressão foi feita com base no fator de inflação de variância (FIV); quando o valor excede a 10 indicou a existência de problemas com multicolinearidade (Kutner et al., 2004).

#### Análise estatística dos dados

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do SAS V. 9.1 (SAS, 2004), considerando-se um nível de significância de 5%.

## Resultados e Discussão

Das 294 árvores de uma amostra, 193 ocupavam posição social dominante; 40, a codominante e 61 a dominada. Os diâmetros observados na amostra variaram de 9,9 a 85,8 cm com média e desvio padrão das árvores dominantes de  $47,8 \pm 15,3$  cm, das codominantes de  $36,1 \pm 12,2$  cm e das dominadas de  $28,2 \pm 10,5$  cm evidenciando que, em média, os valores encontrados apresentaram diferenças estatísticas significantes (Tabela 2); esses valores resultam da maior competição por espaço e luz aos quais estão submetidas árvores codominantes e dominadas na floresta; em compensação, árvores com menor crescimento diamétrico tendem a investir mais no crescimento em altura na busca de luz, enquanto as árvores jovens e dominantes apresentam maior crescimento em altura à medida que engrossam, tendendo a perder o vigor de crescimento primário com o passar do tempo.

Observa-se diferença significativa das alturas médias entre as posições sociais (Tabela 2). Em árvores codominantes a altura apresentou maior desvio padrão, oscilando entre  $\pm 3,6$  metros em relação à média. O resultado reflete a capacidade de crescimento das árvores que, em condições ideais, podem recuperar o incremento em altura.

As estatísticas de ajuste e precisão das cinco equações avaliadas para descrever a relação hipsométrica com e sem estratificação por posição social (Tabela 3), com todos os coeficientes de regressão significantes a um  $\alpha=5\%$ .

Observa-se que os ajustes das equações avaliadas com o coeficiente de determinação ajustado alcançaram valores de 37% a 63% entre as posições sociais, com erro padrão da estimativa em torno de 11% a 17%. Ao analisar as demais

**Tabela 2.** Mínimo, média, máximo e desvio padrão para o diâmetro e altura com e sem estratificação por posição sociológica em árvores de araucária na floresta nativa

Variável	PS	N	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
Diâmetro [d]	PS1	193	14,7	47,8 a	85,8	15,3
	PS2	40	9,9	36,1 b	58,9	12,2
	PS3	61	10,2	28,2 c	49,5	10,5
	T	294	9,9	42,1	85,8	16,2
Altura [h]	PS1	193	9,1	18,1 a	24,9	3,3
	PS2	40	7,2	16,1 b	21,2	3,6
	PS3	61	8,0	14,5 c	19,6	2,8
	T	294	7,2	17,1	24,9	3,5

Em que: PS = posição sociológica: 1 = dominante; 2 = codominante; 3 = dominada, T = todo conjunto de dados desconsiderando a posição social; n = número de indivíduos. \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey-Kramer com significância de 5% (Pr.<0,05).

**Tabela 3.** Coeficientes de regressão e estatísticas de ajuste e precisão avaliadas para as equações com e sem estratificação por posição social de árvores de araucária na floresta nativa

Eq.	PS	Coeficientes			Estatísticas			
		$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2_{aj.}$	Syx%	AIC	BIAS	S
1	PS1	3,0587	0,4439	0,5995	11,675	290,36	-0,0094	2,1053
2		25,5380	18,2900	0,6296	11,228	275,29	0,0011	2,0249
3		21,8623	0,0332	0,6293	11,232	275,42	-0,0062	2,0255
4		1,0534	-0,0822	0,6170	11,416	281,71	-0,0226	2,0587
5		2,4526	0,3348	0,6292	11,233	275,49	-0,0023	2,0258
1	PS2	3,2524	0,4273	0,4865	16,173	78,38	-0,0250	2,5655
2		21,9416	12,5982	0,5865	14,513	69,71	-0,0147	2,3019
3		18,2119	0,0529	0,5774	14,671	70,58	-0,0858	2,3276
4		1,1842	-0,1178	0,5449	15,225	73,53	-0,0870	2,4155
5		1,7523	0,3532	0,5752	14,709	70,78	-0,0244	2,3332
1	PS3	4,4447	0,3307	0,3700	15,502	100,70	-0,0075	2,2270
2		18,6929	8,6968	0,4323	14,716	94,36	-0,0047	2,1141
3		15,7921	0,0734	0,4350	14,681	94,06	-0,0179	2,1091
4		1,2736	-0,1466	0,4219	14,851	95,46	-0,0333	2,1333
5		1,2287	0,3744	0,4259	14,798	95,03	-0,0072	2,1260
1	T	3,2207	0,4300	0,6210	12,946	467,97	-0,0089	2,2050
2		23,5430	14,7449	0,6298	12,796	461,15	0,0074	2,1798
3		20,5620	0,0389	0,6314	12,768	459,83	0,0093	2,1748
4		1,0871	-0,0910	0,6333	12,735	458,30	-0,0109	2,1691
5		2,0433	0,3441	0,6333	12,735	458,28	0,0046	2,1692

Em que: Eq.= número da equação; PS = posição sociológica: 1 = dominante, 2 = codominante, 3 = dominada, T = todos os dados desconsiderando-se as posições sociológicas;  $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$  = são coeficientes de regressão estimados;  $R^2_{aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; AIC= critério de informação de Akaike; BIAS = valores da tendência absoluta; S = desvio padrão residual; D = desvio médio.

estatísticas na seleção da melhor equação dentro de uma mesma posição social foram evidenciados valores muito similares (Tabela 3); desta forma, fez-se a seleção da melhor equação de acordo com o valor ponderado.

Os escores para todas as estatísticas consideradas e o seu valor ponderado (Vp) segundo a posição sociológica ou não das árvores (Tabela 4). A equação 2 (Michailoff) foi a que obteve o menor valor ponderado para os grupos de árvores dominantes (0), codominantes (0) e dominadas (11) sendo então a equação selecionada para estimar a relação hipsométrica dessas árvores. Ao considerar todas as árvores em único conjunto de

dados a melhor equação foi a 5 (Petterson) com o menor valor ponderado (17).

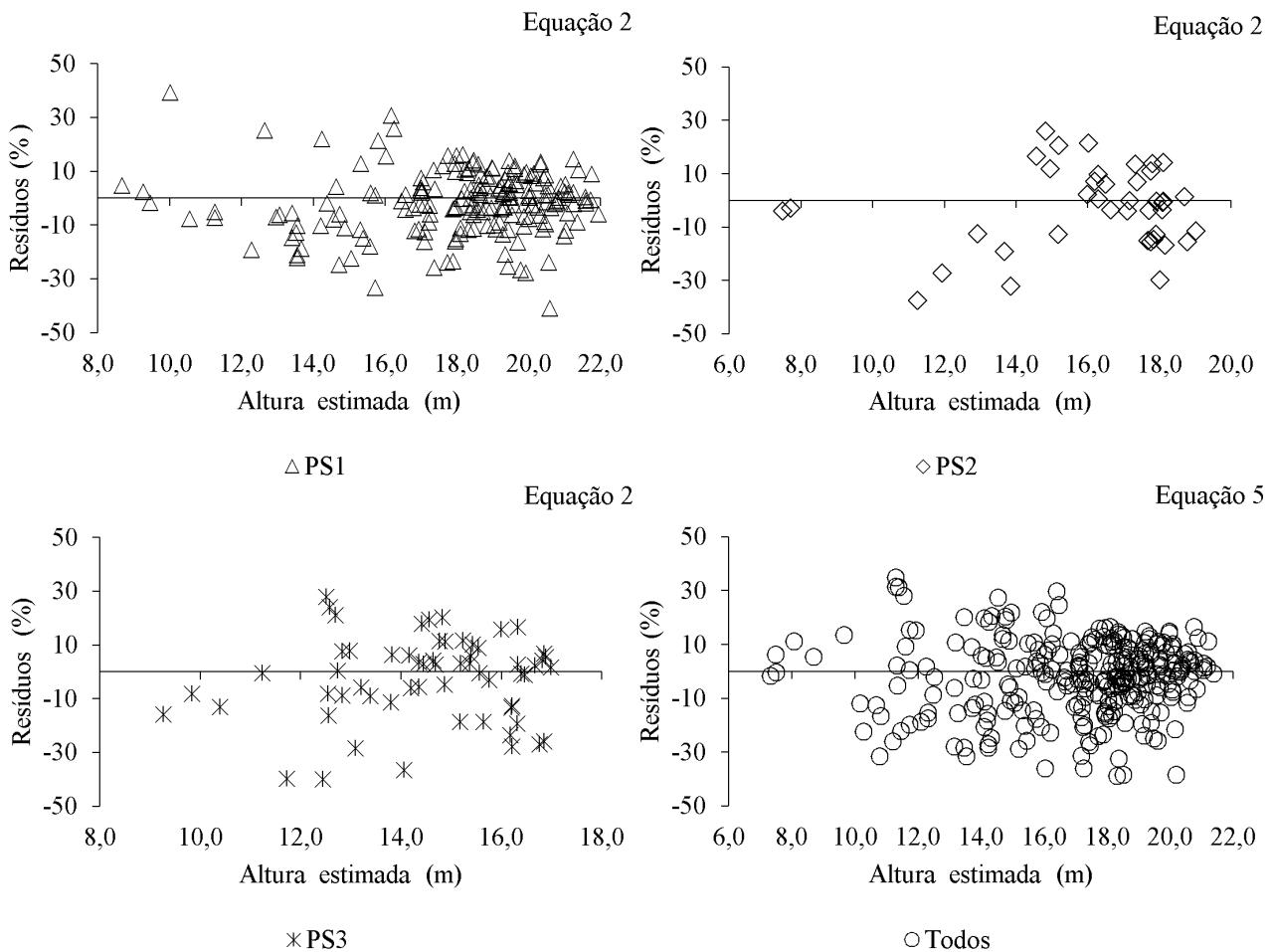
A distribuição dos resíduos em função da variável dependente estimada foi apresentada apenas para as melhores equações selecionadas de árvores de araucária com e sem estratificação por posição social (Figura 1). Apesar da grande amplitude de variação os resíduos mostraram uma distribuição equilibrada sem a presença de erros sistemáticos que superestimem ou subestimem valores.

O efeito da posição social sobre a intercessão e a inclinação das curvas de regressão, tomando por base o

**Tabela 4.** Escores estatísticos dos modelos avaliados para descrever a relação hipsométrica com e sem estratificação por posição social de árvores de araucária na floresta nativa

Eq.	PS	$R^2_{aj.}$	Syx%	AIC	BIAS	S	D	Vp
1	PS1	4	4	4	3	4	3	74
2		0	0	0	0	0	0	0
3		1	1	1	2	1	2	31
4		3	3	3	4	3	4	73
5		2	2	2	1	2	1	32
1	PS2	4	4	4	2	4	3	70
2		0	0	0	0	0	0	0
3		1	1	1	3	1	2	35
4		3	3	3	4	3	4	73
5		2	2	2	1	2	1	32
1	PS3	4	4	4	2	4	3	70
2		1	1	1	0	1	0	11
3		0	0	0	3	0	2	24
4		3	3	3	4	3	4	73
5		2	2	2	1	2	1	32
1	T	3	3	4	2	4	4	73
2		2	2	3	1	3	0	34
3		1	1	2	3	2	1	37
4		0	0	1	4	0	3	37
5		0	0	0	0	1	2	17

Em que: Eq.= número da equação; PS = posição sociológica: 1 = dominante, 2 = codominante, 3 = dominada, T = todos os dados, desconsiderando-se as posições sociológicas;  $R^2_{aj.}$  = coeficiente de determinação ajustado; Syx% = erro padrão da estimativa em porcentagem; AIC= critério de informação de Akaike; BIAS = valores da tendência absoluta; S = desvio padrão residual; D = desvio médio e Vp = valor ponderado.



**Figura 1.** Distribuição residual das melhores equações selecionadas para descrever a relação hipsométrica com e sem estratificação por posição social de árvores de araucária na floresta nativa. PS1 - dominante; PS2 - codominante; PS3 - dominada; Todos – desconsiderando-se a posição sociológica

modelo de Michailoff, mostrou valores de probabilidade significantes para as variáveis D1 ( $Pr.=0,0256$ ) e D2 ( $Pr.<0,0001$ ), indicando diferenças entre níveis das posições sociológicas codominante e dominada em relação à das árvores dominantes (Tabela 5). O mesmo resultado de significância também foi observado na interação das variáveis Dummy com a variável independente do modelo  $1/d^*D1$  ( $Pr.=0,0055$ ) e  $1/d^*D2$  ( $Pr.=0,0001$ ), evidenciando que os três grupos, representando a posição sociológica, apresentaram regressões distintas quanto ao intercepto e à inclinação das curvas. O resultado mostrou ser necessário o emprego de uma equação de relação hipsométrica para cada

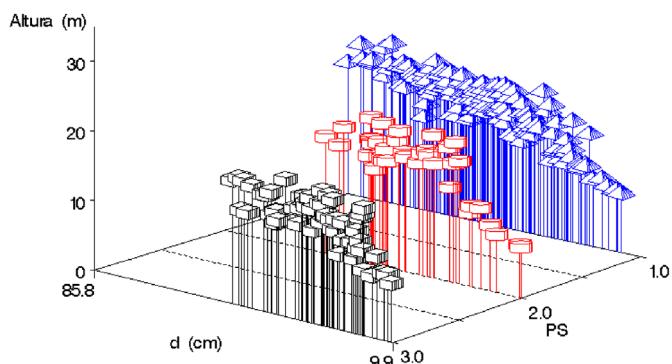
**Tabela 5.** Análise de covariância da relação hipsométrica por posição social com o modelo de Michailoff em árvores de araucária na floresta nativa

FV	GL	SQ	QM	F	Pr.>F
Modelo	5	13,9793	2,7958	138,2	<0,0001
Erro	288	5,82409	0,0202	-	-
Total	293	19,8034	-	-	-
1/d	1	4,3829	4,3829	216,73	<0,0001
D1	1	0,1018	0,1018	5,04	0,0256
D2	1	0,5249	0,5249	25,96	<0,0001
1/d*D1	1	0,1583	0,1583	7,83	0,0055
1/d*D2	1	0,6849	0,6849	33,87	<0,0001

Em que: FV = fonte de variação; GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio; F = valor de F; Pr.>F = probabilidade de significância para o valor de F; d = diâmetro à altura do peito; D1 = variável Dummy para árvores codominantes; D2 = variável Dummy para árvores dominadas.

posição sociológica ou, alternativamente, uma regressão única com variável de seleção Dummy para descrever os grupos representados (Figura 2).

Diversos são os fatores que influenciam a relação entre a altura e o diâmetro destacando-se a concorrência entre árvores, assim como a idade e o índice de sítio (Adame et al., 2008). Modelos provêm de maior acurácia nas estimativas da altura com a inclusão de variáveis que caracterizam o povoamento florestal; como a idade, o diâmetro médio quadrático, área basal, densidade e altura dominante (Hökkä, 1997; Jayaraman



**Figura 2.** Comportamento da relação hipsométrica por posição social de árvores de araucária na floresta nativa. PS1- dominante; PS2 - codominante; PS3 - dominada

**Tabela 6.** Análise de variância e resumo estatístico dos coeficientes estimados da relação hipsométrica com variável Dummy de árvores de araucária na floresta nativa

FV	GL	SQ	QM	F	Pr. > F
Modelo	5	13,9793	2,7958	138,2	<0,0001
Erro	288	5,8240	0,0202	-	-
Total	293	19,8034	-	-	-
Variável	Coeficientes estimados	Erro padrão	Valor de t	Prob. >  t	FIV
Intercepto	3,2334	0,0262	123,22	<0,0001	0,00
1/d	-18,3308	1,0153	-18,06	<0,0001	3,39
D1	-0,1190	0,0530	-2,24	0,0256	4,81
D2	-0,2755	0,0541	-5,09	<0,0001	6,99
1/d*D1	4,4283	1,5824	2,80	0,0055	6,40
1/d*D2	8,5324	1,4661	5,82	<0,0001	10,67

Em que: FV= fonte de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; F= valor de F; Pr.>F= probabilidade de significância para o valor de F; d= diâmetro à altura do peito; D1= variável Dummy para árvores codominantes; D2= variável Dummy para árvores dominadas; FIV= fator de inflação de variância.

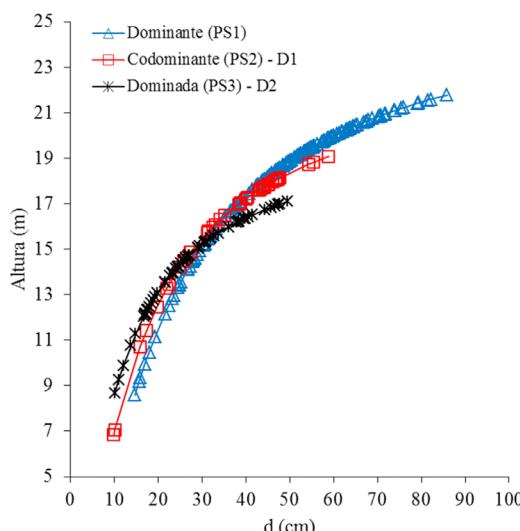
& Lappi, 2001; Eerikäinen, 2003; Sharma & Parton, 2007; Vargas-Larreta et al., 2009; Schmidt et al., 2011).

Todos os coeficientes de regressão estimados com o modelo máximo para descrever a relação hipsométrica com variáveis Dummy foram significantes a um  $\alpha=5\%$  (Tabela 6), indicando haver diferenças na altura das árvores entre os grupos de posição sociológica.

O modelo máximo com variáveis Dummy apresentou coeficiente de determinação ajustado igual a 70,08% e erro padrão da estimativa em porcentagem de 12,77%. De acordo com os valores do fator de inflação de variância, a regressão indicou ausência de multicolinearidade. Desta forma, o modelo máximo com variáveis Dummy propiciou expressar as três posições sociais por um único modelo (Figura 3).

$$\ln(\hat{h}_i - 1,3) = 3,2334 - 18,3308 \left( \frac{1}{d_i} \right) - 0,1190 D1_i - 0,2755 D2_i + 4,4283 \left( \frac{1}{d_i} D1_i \right) + 8,5324 \left( \frac{1}{d_i} D2_i \right)$$

em que:  $\hat{h}_i$ =altura total da i-ésima árvore;  $d_i$ =diâmetro à altura do peito da i-ésima árvore; D1=variável Dummy para árvores codominantes; D2=variável Dummy para árvores dominadas.



**Figura 3.** Trajetória das linhas da relação hipsométrica por posição social estimada pelo modelo Michailoff com variáveis Dummy em árvores de araucária na floresta nativa

Com idades iniciais, as árvores codominantes e dominadas investiram mais no crescimento em altura por falta de luz na copa e, consequentemente, apresentaram menor incremento em diâmetro. Com o aumento da idade o crescimento em altura foi estabilizando, refletindo na diminuição do vigor das árvores sendo este comportamento mais evidente em indivíduos codominantes e dominados; por esta razão foram obtidas diferentes alturas para um mesmo diâmetro (Figura 3).

## Conclusões

A comprovação de diferenças estatísticas de nível e inclinação nas curvas da relação h/d entre árvores dominantes, codominantes e dominadas de araucária, indicou o ajuste de modelos distintos por grupo sociológico a fim de minimizar o erro na sua determinação.

O modelo hipsométrico de Michailoff descreve melhor a relação entre a altura e o diâmetro, simultaneamente, nas classes sociais dominante, codominante e dominada mediante a aplicação de variáveis Dummy.

## Literatura Citada

- Adame, P.; Río, M. D.; Cañellas, I. A mixed nonlinear heith-diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Will.) Forest Ecology and Management, v.256, n.1-2, p.88-98, 2008. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.04.006>>.
- Bartoszeck, A. C. P. S.; Machado, S. A.; Figueiredo Filho, A.; Oliveira, E. B. Dinâmica da relação hipsométrica em função da idade, do sítio e da densidade inicial de povoamentos de bracatinga da região metropolitana de curitiba, PR. Revista Árvore, v.28, n.4, p.517-533, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622004000400006>>.
- Calama, R.; Montero, G. Interregional nonliner height-diameter model with random coefficient for Stone Pine in Spain. Canadian Journal of Forest Research, v.34, n.1, p.150-163, 2004. <<http://dx.doi.org/10.1139/x03-199>>.
- Costa, E. A. Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2011. 140p. Dissertação Mestrado.

- Erikäinen, K. Predictin the height-diameter pattern of planted *Pinus Kesiya* stands in Zambia and Zimbabwe, Forest Ecology and Management, v.175, n.1-3, p.355-366, 2003. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00138-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00138-X)>.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Solos do Estado de Santa Catarina. Boletin técnico N. 46, Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2004. 745p.
- Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - Epagri. Dados e Informações Biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Planalto Sul Catarinense. UPR 3, Florianópolis, 2002. 70p.
- Figueiredo Filho, A.; Dias, A. N.; Kohler, S. V.; Verussa, A. A.; Chiquetto, A. L. Evolution of the hypsometric relationship in *Araucaria aungustifolia* plantations in the mid-south region of Paraná state. Cerne, v.16, n.3, p.347-357, 2010. <[http://www.dcf.ufba.br/cerne/artigos/25-10-20104444v16\\_n3\\_artigo%2010.pdf](http://www.dcf.ufba.br/cerne/artigos/25-10-20104444v16_n3_artigo%2010.pdf)>. 12 Set. 2012.
- Finger, C. A. G.; Spathelf, P.; Schneider, P. R.; Coelho, L. Curvas de altura-diâmetro de acácia negra *Acacia Mearnsii* de Wild. Ciência Rural, v.30, n.3, p.387-391, 2000. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782000000300002>>.
- Hökkä, H. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. Forest Ecology and Management, v.97, n.1, p.63-72, 1997. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00063-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00063-7)>.
- Huang, S.; Price, D.; Titus, S. J. Development of ecoregion-based height-diameter models for white spruce in boreal forest. Forest Ecology and Management, v.129, n.1-3, p.125-141, 2000. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00151-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00151-6)>.
- Husch, B.; Beers, T. W.; Kershaw Jr., J. A. Forest mensuration. 4.ed. New York: John Wiley, 2003. 443p.
- Jayaraman, K.; Lappi, J. Estimation of height-diameter curves through multilevel models with special reference to even-aged teak stands. Forest Ecology and Management, v.142, n.1-3, p.155-162, 2001. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00347-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00347-9)>.
- Kutner, M. H.; Nachtsheim, C. J.; Netter, J.; Li, W. Applied Linear Statistical Models, 5.ed. Boston: McGraw-Hill Irwin, 2004. 1396p.
- Palahí, M.; Miina, J.; Tomé, M.; Montero, G. Stand-level yield model for Scots Pine (*Pinus sylvestris*) in north east Spain. Investigación agraria: sistemas y recursos forestales, v.11, n.2, p.409-424, 2002. <<http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/781/778>>. 10 Set. 2012.
- Peng, C.; Zhang, L.; Zhou, X.; Dang, Q.; Huang, S. Developing and evaluating tree height-diameter models at tree geographic scales for Black Spruce in Ontario. Northern Journal of Applied Forestry, v. 21, n.2, p.83-92, 2004.
- Pretzsch, H. Forest dynamics, growth and yield. Heidelberg: Springer Verlag Berlin, Germany, 2009. 664p.
- Sánchez-González, M.; Cañellas, I.; Montero, G. Generalized height-diameter and crown diameter prediction models for cork oak forests in Spain. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, v.16, n.1, p.76-88, 2007. <<http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/999/996>>. 10 Set. 2012.
- SAS. The SAS System for Windows. Cary: SAS Institute. 2004.
- Schmidt, M.; Kivistö, A.; Gadow, K. V. A spatially explicit height-diameter model for Scots pine in Estonia. European Journal of Forest Research, v.130, n.2, p.303-315, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1007/s10342-010-0434-8>>.
- Schneider, P. R.; Schneider, P. S. P.; Souza, C. A. M. Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal. 2.ed. Santa Maria: UFSM, CEPEF, 2009. 236p.
- Sharma, M.; Parton, John. Height-diameter equations for boreal tree species in Ontario using a mixed-effects modeling approach. Forest Ecology and Management, v.249, n.3, p.187-198, 2007. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.006>>.
- Soligo, A. J. Crescimento da *Araucaria angustifolia* regenerada sob *Pinus elliottii* e em povoamento homogêneo interplantado com *Pinus* spp. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. 132p. Dissertação Mestrado.
- Thiersch, A. Eficiência das distribuições diamétricas para prognose da produção de *Eucalyptus camaldulensis*. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1997. 155p. Dissertação Mestrado.
- Vargas-Larreta, B.; Castelo-Dorado, F.; Álvarez-González, J. G. Barrio-Anta, M. Cruz-Cobos, F. A generalized height-diameter model with random coefficients for uneven-aged stands in El Salto, Durango (Mexico). Forestry, v.82, n.4, p.445-462, 2009. <<http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpp016>>.