

## RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA PARA *Pinus elliottii* Engelm EM DIFERENTES POSIÇÕES SOCIOLÓGICAS EM DOIS VIZINHOS (PR)

Ana Paula Marques Martins<sup>1\*</sup>; Douglas Edson Carvalho<sup>1</sup>; Fernando Franceschi<sup>3</sup>; Joseane Cristina Gallo<sup>3</sup>; Elisabete Vuaden<sup>2</sup>; Veridiana Padoin Weber<sup>2</sup>

SAP 11254 Data envio: 08/01/2015 Data do aceite: 25/03/2015

Sci. Agrar. Parana., Marechal Cândido Rondon, v. 15, n. 2, abr./jun., p. 158-163, 2016

**RESUMO** - O presente trabalho teve como objetivo modelar a relação hipsométrica para *Pinus elliottii* Engelm no município de Dois Vizinhos, PR, e verificar se existe diferença desta relação entre as diferentes posições sociológicas. Para o estudo foi realizado o censo em um talhão de 0,25 ha localizado no *Campus* da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sendo mensuradas as variáveis diâmetro à altura do peito (dap), altura total (h) e posição sociológica de três estratos: PS1 - árvores dominantes; PS2 - árvores codominantes; e PS3 - árvores dominadas ou suprimidas. Foram ajustados sete modelos de relação hipsométrica determinados pelo procedimento STEPWISE. Os parâmetros utilizados para seleção dos modelos foram o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), coeficiente de variação (CV), valor de F calculado e o exame dos resíduos. A análise de covariância (ANACOVA) foi aplicada para verificar a diferença de nível e tendência das equações selecionadas entre as diferentes posições sociológicas. O modelo selecionado para descrever a relação hipsométrica foi:  $\ln h = 2,7654 - 15,62751 * 1/\sqrt{dap^3}$ , com valores de  $R^2_{aj.}$  igual a 0,53, CV de 4,57% e valor de F igual a 331,47. A análise de covariância indicou diferenças significativas em nível e inclinação do modelo que descreve a relação hipsométrica entre as diferentes posições sociológicas, ajustando-se com isso novamente os dados, gerando equações para cada posição sociológica, sendo estas: PS1:  $\ln h = 2,7905 - 15,6652 * 1/\sqrt{dap^3}$ ; PS2:  $\ln h = 2,6206 - 7,3158 * 1/\sqrt{dap^3}$ ; e PS 3:  $\ln h = 2,7537 - 15,9753 * 1/\sqrt{dap^3}$ .

**Palavras-chave:** competição, modelos hipsométricos, povoamentos florestais.

## HYPSONOMETRIC RELATION FOR *Pinus elliottii* Engelm IN DIFFERENT SOCIOLOGICAL POSITIONS AT DOIS VIZINHOS, PARANÁ STATE

**ABSTRACT** - This study aims to model the hypsometric relation to *Pinus elliottii* Engelm in the city of Dois Vizinhos, Paraná State, Brazil, and to investigate the difference of the relationship between the different sociological positions. For this study was conducted a census on a plot of 0.25 ha located on the *Campus* of the Federal Technological University of Paraná, being measured diameter at breast height (dbh), total height (h) and sociological position of three strata: PS1 - dominant trees; PS2 - codominant trees; and PS3 - controlled or suppressed trees. Seven models of hypsometric relation determined by STEPWISE procedure were adjusted. The parameters used for selection of the models were the adjusted coefficient of determination ( $R^2_{aj.}$ ), coefficient of variation (CV), calculated F value and the examination of residue. The analysis of covariance (ANACOVA) was used to verify the difference in level and trend of the equations selected among the different sociological positions. The model selected to describe the hypsometric relation was:  $\ln h = 2.7654 - 15.62751 * 1/\sqrt{dap^3}$  with  $R^2_{aj.}$  values equal to 0.53, CV 4.57% and F value equal to 331.47. Analysis of covariance indicated significant differences in level and slope model that describes the hypsometric relationship between the different sociological positions, fitting with this data again, generating equations for each sociological position, these being: PS1:  $\ln h = 2.7905 - 15.6652 * 1/\sqrt{dap^3}$ ; PS2:  $\ln h = 2.6206 - 7.3158 * 1/\sqrt{dap^3}$ ; and PS3:  $\ln h = 2.7537 - 15.9753 * 1/\sqrt{dap^3}$ .

**Key words:** competition, hypsometric models, forest stands.

## INTRODUÇÃO

O sul e sudeste do país concentram a maior parte das florestas do gênero *Pinus* do Brasil. Devido ao clima apropriado, as espécies desse gênero têm se desenvolvido muito bem nestas regiões, alcançando altos índices de produtividade, muito superiores aos de seus países de

origem. A floresta de *Pinus* se destaca pelo seu uso múltiplo, pois a mesma árvore, em seu ciclo, pode ser destinada às indústrias laminadora, serrarias, móveis, painéis, papel e celulose e seu resíduo tem sido aproveitado como biomassa para geração de vapor e energia (STALL, 2012).

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, Mestrando em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, UFPR, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: [anapaula\\_marquesm@yahoo.com.br](mailto:anapaula_marquesm@yahoo.com.br) e [douglasedsoncarvalho@gmail.com](mailto:douglasedsoncarvalho@gmail.com). \*Autor para correspondência

<sup>2</sup>Engenheira Florestal, Professoras Assistentes do curso de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Estrada para Boa Esperança, Km 04, CEP 85660-000, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil. E-mail: [veridianapadoin@utfpr.edu.br](mailto:veridianapadoin@utfpr.edu.br) e [elisabetev@utfpr.edu.br](mailto:elisabetev@utfpr.edu.br)

<sup>3</sup>Engenheiro Florestal, Curso de Engenharia Florestal, UTFPR. E-mail: [joseanegallo@hotmail.com](mailto:joseanegallo@hotmail.com) e [the\\_feg@hotmail.com](mailto:the_feg@hotmail.com)

Como o setor florestal brasileiro tem grande potencial a ser explorado e o país apresenta condições físicas e naturais para o desenvolvimento do mesmo, com elevada extensão de terras apropriadas, mão-de-obra abundante, clima e solo favoráveis, tecnologia silvicultural avançada e rápido crescimento das plantações florestais, o investimento na atividade florestal pode contribuir ainda mais para o desenvolvimento sócio-econômico do país (SOARES, 2006).

A região sudoeste do Paraná, que engloba cerca de 42 municípios, é uma área com um grande potencial madeireiro, em virtude de seu clima possuir estações bem definidas e presença de solos férteis em sua grande maioria. Diante disso, o uso de técnicas adequadas ao manejo florestal vem a contribuir para o uso racional dos recursos florestais para uma produção contínua ao longo dos anos. A importância do manejo florestal, segundo Bentes-Gama et al. (2006), destaca-se por exercer funções como: redução das taxas de desmatamento, geração de postos de trabalho, redução das taxas de emigração rural, diversificação e elevação da renda no meio rural e manutenção dos serviços ambientais da floresta (equilíbrio climático e hídrico, conservação da biodiversidade e proteção ao solo).

Para o sucesso no manejo florestal é de suma importância o estudo da relação hipsométrica (relação entre a altura e o diâmetro) a qual, de acordo com Finger et al. (1996), é utilizada para fornecer as alturas de árvores que tiveram apenas o diâmetro medido no momento do inventário florestal, e na determinação das alturas dominantes, variável de grande importância para a classificação da capacidade produtiva de uma floresta. Esta relação é influenciada por variáveis como idade, região do plantio, variação genética, tratamentos silviculturais, densidade, tamanho da copa e posição sociológica. Para Loetsch et al. (1973), a relação altura-diâmetro depende muito da posição sociológica da árvore no povoamento e difere para cada classe. Na composição da base de dados para ajustar uma relação hipsométrica, procura-se estratégias de ajustes capazes de captar diversos fatores que afetam essa relação (RIBEIRO et al., 2008).

Neste contexto, devido à escassez de estudos relacionados ao manejo florestal no sudoeste do Paraná, o presente trabalho teve como objetivo modelar a relação hipsométrica para *Pinus elliottii* Engelm no município de Dois Vizinhos, e verificar se existe diferença desta relação entre os diferentes níveis de competição estabelecidos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em um talhão de *P. elliottii* na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos. Para a coleta dos dados, foi realizado um censo em uma área de 0,25 ha, totalizando 284 árvores amostradas, em espaçamento de 2x2 m, com oito anos de idade. O clima característico da região é o Cfa, subtropical com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes. A região registra temperaturas médias anuais de 19 °C e pluviosidade média de 2.025 mm anuais (IAPAR, 2014).

Foram mensuradas variáveis quantitativas como diâmetro à altura do peito (DAP - 1,30 m em relação ao solo), altura total (h), e variáveis qualitativas como posição sociológica (PS1: posição sociológica 1 - árvores dominantes; PS2: posição sociológica 2 - árvores codominantes; PS3: posição sociológica 3 - árvores dominadas). A posição sociológica foi classificada baseando-se na observação das copas das árvores, sendo denominada como PS1 quando a copa estava totalmente exposta à luz superior e lateral, PS2 para copas com iluminação somente superior e PS3 quando havia alguma iluminação superior na copa. Para a coleta dos dados foram utilizados fita métrica e Vertex IV.

Após a coleta, os dados foram analisados no software SAS (*Statistical Analysis System*) versão 9.2, a fim de ajustar uma equação de relação hipsométrica para a espécie. Primeiramente, realizou-se a análise de correlação de Pearson pelo procedimento PROC CORR para verificar o grau de relação entre as variáveis. Para a modelagem da variável altura total em função do diâmetro, foi utilizado o procedimento STEPWISE, onde as variáveis dependente e independente foram transformadas para a forma logarítmica, inversa, quadrática e exponencial, com intuito de selecionar a variável de melhor ajuste no modelo. Os parâmetros utilizados para seleção dos modelos foram o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), coeficiente de variação (CV), valor de F calculado e o exame dos resíduos. A análise de covariância (ANACOVA) foi aplicada para verificar a diferença de nível e tendência das equações selecionadas entre as diferentes posições sociológicas. Com isso, verificou-se a necessidade ou não do uso de funções independentes, indicando assim a existência ou não de diferentes padrões de comportamento. A inclinação e o nível das curvas foram verificados utilizando o procedimento GLM, considerando a probabilidade de erro de 1%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando a Tabela 1, pode-se constatar que as correlações da altura total com a variável diâmetro à altura do peito foram altamente significativas, assim como com a variável posição sociológica. A correlação entre a altura e o diâmetro foi positiva, indicando que à medida que a altura aumenta o diâmetro também aumenta. No entanto, a posição sociológica apresentou correlação negativa com as demais variáveis, demonstrando que as árvores dominantes apresentam maiores dimensões em relação às dominadas.

A modelagem realizada pelo procedimento STEPWISE para descrever a relação hipsométrica resultou em sete equações, descritas na Tabela 2, que também apresenta os resultados das estatísticas utilizadas para comparar os sete modelos hipsométricos testados. Analisando os modelos gerados, verifica-se um ajuste moderado para todo conjunto de dados. O modelo 4 foi o utilizado para explicar a relação hipsométrica, por apresentar menor coeficiente de variação, além de valor de  $R^2_{aj}$  e valor de F calculado entre os mais altos entre os modelos ajustados, além de boa distribuição dos resíduos (Figura 1).

**TABELA 1.** Correlação de Pearson entre as variáveis diâmetro à altura do peito, altura total e posição sociológica para *Pinus elliottii* Engelm.

Variáveis	dap	h	PS
dap	1	0,6684 <0,0001	-0,6438 <0,0001
h		1	-0,5719 <0,0001
PS			1

Em que: *dap*: diâmetro à altura do peito; *h*: altura total; PS: posição sociológica.

**TABELA 2.** Estatísticas e modelos selecionados por STEPWISE para estimar a altura total em função do diâmetro para um povoamento de *Pinus elliotti* Engelm na região de Dois Vizinhos, Paraná.

Modelo	Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	CV (%)	F calculado
1	$h = -65,61954 + 82,98783 * \frac{dap}{1 + dap}$	0,49	10,84%	281,74*
2	$\frac{1}{h} = 0,06502 + 4,03994 * \frac{1}{dap^2}$	0,58	12,71%	403,15*
3	$h^2 = 614,58217 - 915,49632 * \frac{1}{\sqrt[4]{dap}}$	0,46	21,19%	244,37*
4	$\ln h = 2,76536 - 15,62751 * \frac{1}{\sqrt{dap^3}}$	0,53	4,57%	331,47*
5	$\sqrt{h} = 4,19697 - 10,73179 * \frac{1}{dap}$	0,51	5,54%	304,72*
6	$h = 7,3648 + 0,29996 * dap$	0,44	11,40%	227,69*
7	$\ln h = 1,27076 + 0,44266 * \ln dap$	0,48	4,80%	272,59*

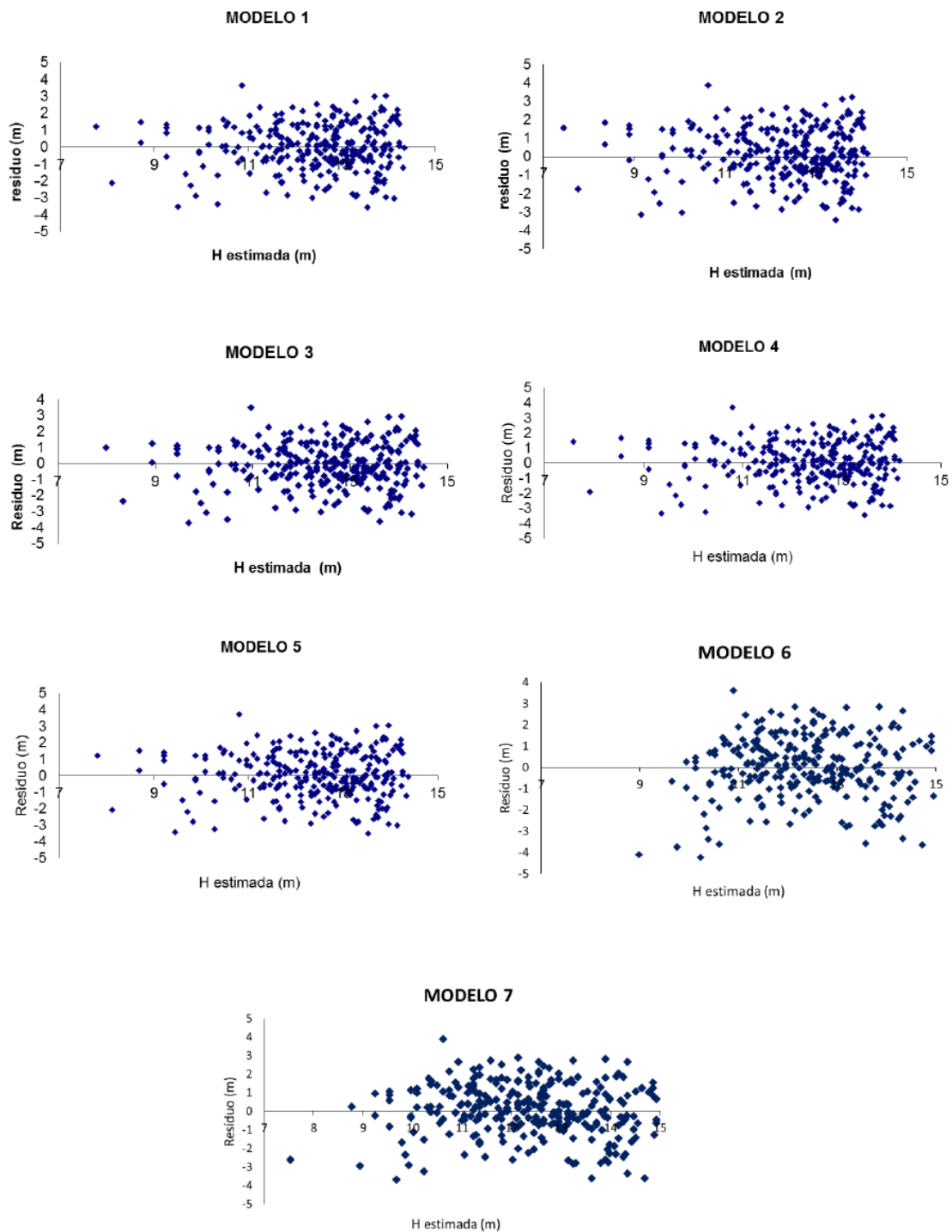
Em que: *dap*: diâmetro à altura do peito (cm); *h*: altura total (m); ln: logaritmo neperiano; R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>: coeficiente de determinação ajustado; CV: coeficiente de variação. \*: significativo a 95% de probabilidade.

Observando a distribuição dos resíduos das equações para descrever a relação hipsométrica para *P. elliottii* (Figura 1), constata-se que os resíduos encontram-se distribuídos de forma homogênea ao longo do eixo do zero, sem apresentar tendências para todos os modelos.

A variável qualitativa posição sociológica apresentou alta correlação com as variáveis altura total e diâmetro à altura do peito (Tabela 1), então, foi realizada uma análise de covariância para verificar a existência de diferenças em nível e inclinação do modelo de relação hipsométrica entre as diferentes posições sociológicas. Freese (1964) descreve este procedimento para equações lineares simples em que as linhas de regressão dos grupos podem diferir quanto as inclinações e quanto as intersecções (níveis). Para tanto, testa-se inicialmente a hipótese da diferença não significativa entre inclinações e se for verdadeira, testa-se também a hipótese da diferença

não significativa entre intersecções. Quando ambas as hipóteses são verdadeiras, assume-se que uma única equação de regressão pode ser ajustada ignorando a diferença entre grupos, e caso contrário, acata-se a necessidade de diferentes equações para os grupos estudados.

A análise de covariância apresentada na Tabela 3 demonstra que a co-variável posição sociológica apresenta interação significativa (valor de F igual a 5,51) com a variável independente diâmetro à altura do peito da relação hipsométrica, indicando que há diferença de inclinação entre as diferentes posições sociológicas. Observando a análise de covariância do modelo sem interação (Tabela 3), para que fosse possível analisar as diferenças em nível entre as posições sociológicas, pode-se dizer que há diferença significativa (F = 6,76) em nível entre a relação hipsométrica das árvores pertencentes às diferentes posições sociológicas.



**FIGURA 1** - Distribuição dos resíduos das sete equações de relação hipsométrica ajustados para *Pinus elliottii* Engelm em Dois Vizinhos, PR.

Como as equações da relação hipsométrica diferem em nível e inclinação nas diferentes posições sociológicas, ajustaram-se novamente os dados. As estimativas das novas equações podem ser verificadas na Tabela 4 e as suas respectivas tendências na Figura 2. Pela análise das estatísticas dos novos modelos gerados,

constata-se que os coeficientes de determinação ajustado para as posições sociológicas 1 e 2 é menor do que o coeficiente de determinação do modelo que representa a relação hipsométrica para todo o conjunto de dados, no entanto, apresentaram baixo coeficiente de variação e os modelos foram significativos.

**TABELA 3.** Análise de covariância do modelo  $\ln h = 2,7654 - 15,62751 * 1/\sqrt{dap^3}$  para verificar a diferença de inclinação entre as diferentes posições sociológicas.

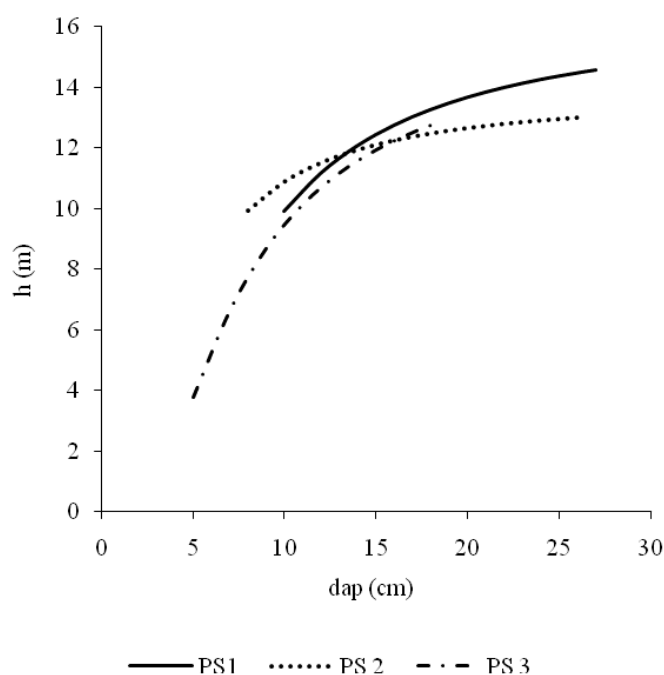
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	Prob, > F
Inclinação					
Modelo	5	4,6577	0,9315	76,28	<0,0001
$1/\sqrt{dap^3}$	1	1,1032	1,1032	90,34	<0,0001
OS	2	0,1329	0,0664	5,44	0,0048
$1/\sqrt{dap^3}$ * PS	2	0,1347	0,06735	5,51	0,0045
Resíduo	278	3,3950	0,0122		
Total	283	8,0528			
Nível					
Modelo	3	4,5230	1,5077	119,60	<0,0001
$1/\sqrt{dap^3}$	1	1,9239	1,9239	152,62	<0,0001
PS	2	0,1704	0,0852	6,76	0,0014
Resíduo	280	3,5297	0,0126		
Total	283	8,0527			

Em que: *dap*: diâmetro à altura do peito (cm); Os: posição sociológica; F.V.: fonte de variação; G.L.: graus de liberdade; S.Q.: soma dos quadrados; Q.M.: quadrado médio; F: valor de F calculado para a variável dependente; Prob.>F: nível de probabilidade de erro.

**TABELA 4.** Equações reajustadas para a relação hipsométrica nas diferentes posições sociológicas.

PS	Equação	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	CV(%)
1	$\ln h = 2,7905 - 15,6652 * 1/\sqrt{dap^3}$	0,24	3,67
2	$\ln h = 2,6206 - 7,3158 * 1/\sqrt{dap^3}$	0,11	4,03
3	$\ln h = 2,7537 - 15,9753 * 1/\sqrt{dap^3}$	0,58	6,19

Em que: h = altura total (m); *dap*: diâmetro à altura do peito (cm); PS1: posição sociológica 1; PS2: posição sociológica 2; PS3: posição sociológica 3; R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>: coeficiente de determinação ajustado; CV: coeficiente de variação.

**FIGURA 2** - Estimativa da altura em função do diâmetro para diferentes posições sociológicas (PS1: posição sociológica 1 - dominantes; PS2: posição sociológica 2 - codominantes; PS3: posição sociológica 3 - dominadas).

Conforme observado na Figura 2, as árvores dominantes apresentam uma relação hipsométrica em um nível superior às demais posições sociológicas, podendo ser explicado pelo fato de que essas árvores possuem uma maior exposição da copa à luminosidade. Ao contrário das relações hipsométricas das árvores codominantes e dominadas, as quais se apresentaram em um nível inferior das dominantes devido à presença de luz em menor grau sobre suas copas.

Apesar do coeficiente de determinação ajustado não ter melhorado após a estratificação dos dados para a PS1 e PS2, ressalta-se a importância da separação das árvores em posições sociológicas, pois a relação hipsométrica entre árvores dominantes é diferente das codominadas e suprimidas. Sendo assim, como esse povoamento não sofreu nenhuma forma de manejo, é importante demonstrar como se comporta a relação entre a altura e o diâmetro para diferentes estratos na floresta, servindo de subsídio na tomada de decisões sobre o manejo da mesma, como na determinação da realização de desbastes, já que as árvores dominadas apresentaram as menores dimensões quando comparadas com as demais árvores.

Cardoso (1989), estudando fatores que afetam na relação hipsométrica para *Pinus taeda* na região central e sudoeste do Paraná, concluiu que, em relação à posição sociológica, a relação h/d é muito afetada pela posição sociológica, já que as médias dos valores obtidos pelo autor foram consideradas significativamente diferentes pelo teste de Duncan.

## CONCLUSÕES

O modelo selecionado para descrever a relação hipsométrica para *Pinus elliottii* no município de Dois Vizinhos-PR foi o modelo 4:  $\ln h = 2,7654 - 15,62751 * 1/\sqrt{dap}^3$ .

A análise de covariância indicou diferenças significativas em nível e inclinação do modelo que descreve a relação hipsométrica entre as diferentes posições sociológicas, ou seja, existe diferença na relação hipsométrica entre os diferentes níveis de competição estabelecidos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENTES-GAMA, M.; OLIVEIRA, B.B.V.; VIEIRA, A.H.; LOCATELLI, M.; RODRIGUES, V.G.S.; MEDEIROS, I.M.; MARTINS, E.P. Fortalecimento do manejo florestal comunitário em assentamento rural na Amazônia ocidental, Rondônia, Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DA IUFRO, 2., 2006, La Serena, Chile. *Anais...* La Serena, Chile, 2006. p.1-15.
- CARDOSO, D.J. *Avaliação da influência dos fatores sítio, idade, densidade e posição sociológica na relação hipsométrica para Pinus taeda na região central e sudoeste do Estado do Paraná*. 1989. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.
- FINGER, C.A.G.; ELEOTÉRIO, J.R.; BERGER, R.; SCHNEIDER, P.R. Crescimento diamétrico do pau-ferro (*Astronium balansae*) em reflorestamento no município de São Sepé, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.6, n.1, p.101-108. 1996.
- FREESE, F. *Linear regression methods for forest research*. U.S. Forest Service. Research Note FPL-17, 1964. 136p.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAP. *Sistema de monitoramento agroclimático do Paraná*. Disponível em: <www.iapar.br>. Acesso em: 18 jul. 2014.
- LOETSCH, F.; ZOHRER, F.; HALLER, K.E. *Forest inventory*. München: BLY Verlagsgesellschaft, 1973. v.2.
- RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A.C.; MELLO, J.M; FERREIRA, M.Z.; LISBOA, P.M.M.; SCOLFORO, J.R.S. Diferentes estratégias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* spp. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4., 2008, Santa Maria, Rio Grande do Sul. *Anais...* Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2008, p.16-22.
- SOARES, N.S. *Potencial de implantação de um contrato futuro da madeira de reflorestamento*. 2006. 121p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
- STALL, D. *Avaliação econômica e análise de sensibilidade de regimes de manejo em florestas de Pinus taeda L. no planalto serrano de Santa Catarina*. 2012. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.