

## Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 12 (6)

December 2019

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/1262019928>

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=928&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



## Estratificação no ajuste de modelos de relação hipsométrica em fragmento de floresta inequiana

### Stratification in the adjustment of hypsometric relationship models in forest fragment

F. R. C. B. Baptista, D. H. S. Ataíde, P. V. Rocha, L. C. Silva, E. J. G. Araújo, R. A. Curto, B. A. F. Mendonça

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Universidade Federal de Mato Grosso/Campus Sinop

Author for correspondence: [rafaellacurto@yahoo.com.br](mailto:rafaellacurto@yahoo.com.br)

**Resumo.** Objetivou-se avaliar a estratégia de estratificação dos dados, no ajuste de modelos hipsométricos, capaz de estimar com acurácia a altura de árvores no fragmento florestal inequiano, testando a eficiência da estratificação por espécie, grupo ecológico e classe diamétrica. Em um fragmento florestal natural e inequiano (2,2 ha) pertencente à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, realizou-se censo arbóreo, realizando identificação botânica das árvores com diâmetro maior ou igual a 5 cm, sendo tal variável mensurada com sua respectiva altura total. Os dados foram estratificados em grupo ecológico, espécie e classe diamétrica e ajustou-se dez modelos tradicionais de relação hipsométrica para o banco de dados geral e para cada estrato. Avaliou-se a significância dos modelos pelo teste F e teste  $t$ , com 95% de probabilidade. Tendências das estimativas foram verificadas com análise gráfica dos resíduos, observando-se também os valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ) e erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ). Os parâmetros da regressão, subsidiou a realização do teste de identidade entre modelos de Graybill. O modelo de Trorey foi escolhido, e observou-se que a estratificação por espécie e grupo ecológico viabilizou o ajuste tornando-o mais eficiente. A estratificação em classe diamétrica não apresentou ganho.

**Palavras-chave:** relação altura/diâmetro; identidade de modelos; estratos.

**Abstract.** The objective of this study was to find a hypsometric relationship model capable of estimating the height of trees in unequal forest fragment, testing the efficiency of stratification by species, ecological group and diametric class. In the unequal forest fragment (2.2 ha) belonging to the Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica / RJ, a census was carried out, botanical identification of trees with a diameter  $\geq 5$  cm, being this variable measured, as well as their respective height total. The data were stratified into ecological group, species and diametric class, and then ten traditional models of hypsometric relation were adjusted for the general database and for each stratum. The significance of the models was evaluated by the F test and the t test, with 95% probability. Trends of the estimates were verified with graphical analysis of the residues, being also observed the coefficient of determination ( $R^2_{aj.}$ ) and standard error of the estimate in percentage ( $S_{yx}\%$ ). By means of the regression parameters, the Graybill models identity test was subsidized. The Trorey model was chosen and it was observed that the stratification by species and ecological group made the adjustment more efficient. Stratification in diametric class showed no gain.

**Keywords:** relationship height/diameter; identity of models; stratification.

#### Introdução

A relação hipsométrica é a relação entre a altura e o diâmetro da árvore, sendo uma ferramenta muito utilizada nos inventários florestais, visando promover a redução de custo e tempo do inventário, além de possíveis erros de mensuração

(Scolforo, 2005). A variável altura é de grande importância na quantificação do volume de madeira (Andrade et al., 2006), e em florestas inequianas, exerce importância na análise da estrutura vertical como indicador do estágio sucessional em que se encontra cada espécie (Calegario et al., 1994).

Em florestas inequianas, a relação hipsométrica pode não ser tão eficiente como em florestas equianas (Silva et al., 2012). Isso se dá devido à baixa correlação biológica presente na relação diâmetro/altura total, pois os parâmetros dos ajustes do modelo apresentam altos valores de variância, desvio padrão e erro padrão da estimativa. Conseqüentemente, o coeficiente de determinação ajustado é baixo, resultando na incapacidade de se obter bons resultados (Lima & Leão, 2013).

Ao observar as variações de altura em função das variações em diâmetros, pode-se notar uma curva característica da relação hipsométrica, onde a sua inclinação é maior para árvores de diâmetros menores (árvores jovens) tendendo a diminuir para árvores de maiores diâmetros (árvores adultas), tornando a curva próxima de uma assíntota, evidenciando que o diâmetro aumenta significativamente somente após estabilizar o crescimento em altura (Scolforo, 2005). A curva hipsométrica possui inclinação característica e é dinâmica ao longo do tempo, sendo influenciada pela espécie, posição sociológica, idade, tamanho de copa, densidade, sítio e práticas silviculturais (Machado et al., 2008).

Em florestas inequianas, onde tem-se alta diversidade de espécies, plantas em diferentes estágios de desenvolvimento e regeneração contínua, as relações hipsométricas ajustadas geralmente apresentam baixa exatidão na estimativa. Segundo Scolforo (2005), o padrão de crescimento em florestas inequianas é explicado pela altura da árvore que, após alcançar o dossel, resulta em um crescimento expressivo em diâmetro. Por isso, o autor recomenda a estratificação dos dados, em grupo ecológico, espécie e classe diamétrica para os ajustes devido à heterogeneidade da floresta.

Observa-se em muitos trabalhos a eficiência da relação hipsométrica para espécies florestais em plantios puros de eucalipto, pinus, candeia, araucária, dentre outros, havendo menor número de trabalhos que comprovam a eficiência da relação hipsométrica para florestas inequianas. A fim de elevar a qualidade de ajuste da relação hipsométrica, estratégias de agrupamentos de dados por características semelhantes vêm sendo empregadas durante o processamento. Alguns pesquisadores já têm utilizado esse artifício em seus experimentos e têm encontrado ganhos nos ajustes de modelos de relação hipsométrica (Araújo et al., 2012; Curto et al., 2014; Rodrigues et al., 2017).

Diante disso, surge a hipótese de que a estratificação dos dados em grupos ecológicos, espécie e classes de diâmetro promovem melhorias no ajuste de equações hipsométricas em florestas inequianas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias de estratificação dos dados no ajuste de modelos hipsométricos em um fragmento de floresta inequiana.

## Métodos

### Área de estudo e coleta de dados

Os dados foram coletados em fragmento florestal, com área de 2,2 ha, localizado no município de Seropédica, Rio de Janeiro, com coordenadas centrais 22° 45' 26" S e 43° 41' 52" W. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é tropical úmido (tipo Aw), caracterizado por invernos secos e verões chuvosos (Alvares et al., 2013), com temperatura e precipitação média anual de aproximadamente 24 °C e 1.370 mm, respectivamente, e altitude média de 31 m (Santos et al., 2016).

Foi realizado censo arbóreo na área onde mediu-se a altura total (Ht) e a circunferência a 1,30 m do solo (CAP) das árvores com CAP ≥ 15,7 cm, sendo essas variáveis mensuradas utilizando vara hipsométrica e fita métrica, respectivamente, e os valores de CAP convertidos em DAP (diâmetro a 1,30 m de altura do solo), pela divisão dos valores de CAP por  $\pi$ . As árvores foram identificadas botanicamente, em nível de espécie, segundo o método APG III (Reveal & Chase, 2011) e classificadas de acordo com seu grupo ecológico.

### Modelos ajustados e critérios de estratificação

Foram ajustados dez modelos matemáticos de regressão a fim de descrever a relação hipsométrica do conjunto de dados, sendo oito modelos lineares e dois não lineares (Tabela 1). Avaliou-se a significância do ajuste dos modelos, pelo teste F da análise de variância, e de seus coeficientes pelo teste t, ambos com 95% de probabilidade. A possível presença de tendências das estimativas foi validada por meio da análise gráfica dos resíduos relativos em função do DAP. Utilizou-se, também, a análise gráfica de validação, que dispõe as alturas estimadas (Y) em função das alturas observadas (X), além dos valores de coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e erro padrão da estimativa em porcentagem ( $S_{yx}\%$ ). As expressões usadas para calcular  $R^2_{aj}$  (Equação 1),  $S_{yx}\%$  (Equação 2) foram, respectivamente:

$$R^2_{aj} = 1 - \left[ \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \cdot \left( \frac{n-1}{n-p} \right) \right] \quad \text{(Equação 1)}$$

$$S_{yx}\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ht_i - \widehat{Ht}_i)^2}{n-p}} \cdot \frac{100}{\overline{Ht}} \quad \text{(Equação 2)}$$

em que:  $SQ_{res}$  – soma dos quadrados dos resíduos;  $SQ_{total}$  – soma dos quadrados do total;  $n$  – número dos dados observados;  $p$  – número de parâmetros do modelo;  $Ht_i$  – altura total observada (m);  $\widehat{Ht}_i$  – altura total estimada (m);  $\overline{Ht}$  – altura total média (m).

Após avaliar as estatísticas de ajuste dos modelos, foi selecionado aquele que apresentou os valores mais satisfatórios em relação aos critérios de seleção anteriormente descritos. A partir da seleção utilizou-se da mesma para o ajuste com os dados estratificados de acordo com os seguintes critérios: grupo ecológico, espécies e classes de diâmetro.

A estratificação dos dados por grupo ecológico considerou os grupos Clímax, Pioneira, Secundária Inicial, Secundária Tardia e Sem classificação. Para a estratificação por classe diamétrica, agrupou-se os dados em 10 classes com amplitude de 5 cm. Nessas duas situações, foram utilizadas todas as árvores mensuradas no censo, correspondendo a 1.547 fustes. Por fim, considerou-se apenas as cinco espécies de maior ocorrência na área, sendo elas: *Albizia guachapele* (H.B. & K.) Dugand, *Lophanthera lactescens* Ducke, *Erythroxylum pulchrum* A. St. -Hil., *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F.Macbr., *Sparattosperma leucanthum* (Vell.) K.Schum, totalizando 1.174 fustes. Assim, nas três estratégias de ajuste, foram avaliados 20 grupos, além do ajuste geral com todo o banco de dados. As mesmas estatísticas utilizadas para avaliar as equações com o ajuste geral foram utilizadas para avaliar os ajustes por estratos.

**Tabela 1.** Modelos de relação hipsométrica testados para o fragmento florestal, localizado em Seropédica, RJ.

nº	Modelo	Denominação
1	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{DAP}$	Linear Simples
2	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{DAP} + \beta_2 \cdot \text{DAP}^2$	Trorey
3	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{\text{DAP}}$	Assmann
4	$h = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\text{DAP})$	Henricksen
5	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(\text{DAP})$	Stoffels
6	$\ln(h) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{\text{DAP}}$	Curtis
7	$\frac{1}{h-1,3} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{1}{\text{DAP}}$	Petterson
8	$\frac{\text{DAP}^2}{h} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{DAP} + \beta_2 \cdot \text{DAP}^2$	Prodan
9	$h-1,3 = \frac{\text{DAP}^2}{\beta_0 + \beta_1 \cdot \text{DAP}^2}$	Naslund
10	$h-1,3 = \frac{\text{DAP}^2}{\beta_0 + \beta_1 \cdot \text{DAP} + \beta_2 \cdot \text{DAP}^2}$	Prodan

$\ln$  = logaritmo neperiano;  $h$  = altura total (m);  $\text{DAP}$  = diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m de altura do solo (cm);  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  e  $\beta_2$  = coeficientes da regressão.

**Tabela 2.** Coeficientes de regressão, coeficiente de determinação ajustado, erro padrão da estimativa percentual e valor F da análise de variância, para o ajuste dos modelos com o banco de dados sem estratificação.

nº	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$R^2_{aj.}$	$S_{yx}$ %	F
1	7,3631*	0,2217*	-	0,45	31,84	1.552,2 <sup>s</sup>
2	6,4677*	0,3861*	-0,0020*	0,49	28,36	761,1 <sup>s</sup>
3	14,6572*	-35,5831*	-	0,37	33,96	1.134,8 <sup>s</sup>
4	-1,0406*	4,8116*	-	0,55	28,55	2.391,1 <sup>s</sup>
5	1,1490*	0,4607*	-	0,53	29,59	2.176,3 <sup>s</sup>
6	2,6909*	-3,7668*	-	0,43	31,83	1.481,3 <sup>s</sup>
7	0,0486*	0,9003*	-	0,20	31,12	481,7 <sup>s</sup>
8	-1,6675*	0,8963*	0,0412*	0,93	30,33	12.656,2 <sup>s</sup>
9	4,2271*	0,0667*	-	0,90	29,93	9.181,7 <sup>s</sup>
10	-0,8123*	0,8336*	0,0431*	0,91	28,63	6.749,1 <sup>s</sup>

(\*) significativo para o teste  $t$ , 5% de probabilidade; (<sup>s</sup>) significativo para estatística F, 5% de probabilidade; (n) não linear; ( $\hat{\beta}_0$ ,  $\hat{\beta}_1$ ,  $\hat{\beta}_2$ ) coeficientes obtidos para os modelos; ( $R^2_{aj.}$ ) coeficiente de determinação ajustado; ( $S_{yx}$ %) erro padrão da estimativa percentual; (F) valor calculado do teste F da análise de variância.

### Teste de identidade entre modelos

Após a escolha do modelo de regressão, ocorreu o Ajuste Geral para todo o banco de dados (A) incluindo todos os fustes, onde foram geradas a soma dos quadrados da regressão, soma dos quadrados dos resíduos e a soma dos quadrados do total. Da mesma forma, foi realizado o ajuste geral para as cinco espécies de maior ocorrência (B), conforme mencionado anteriormente, excluindo do banco de dados os fustes das demais espécies. Em cada estratificação, foram geradas as respectivas somas dos quadrados para compor o teste de identidade entre modelos (Graybill, 2000).

A diferença entre as equações ajustadas para os dados estratificados e para o ajuste geral foram avaliadas por meio do teste de identidade entre modelos. Esse teste fundamenta-se na comparação da soma dos quadrados dos resíduos, do modelo ajustado para as classes de cada estrato (modelo completo), em relação a soma de quadrado da diferença do modelo ajustado para os dados sem estratificação (modelo reduzido). A hipótese inicial ( $H_0$ ) do teste é de que os modelos completos são estatisticamente iguais ao modelo reduzido. Assim, caso seja rejeitada, o que é indicado pela estatística do teste F maior ou igual ao F tabelado (para 95% de probabilidade), conclui-se que não é possível utilizar apenas uma equação hipsométrica para os dados, de modo que pelo menos um estrato deve ser modelado separadamente aos demais.

### Resultados e Discussão

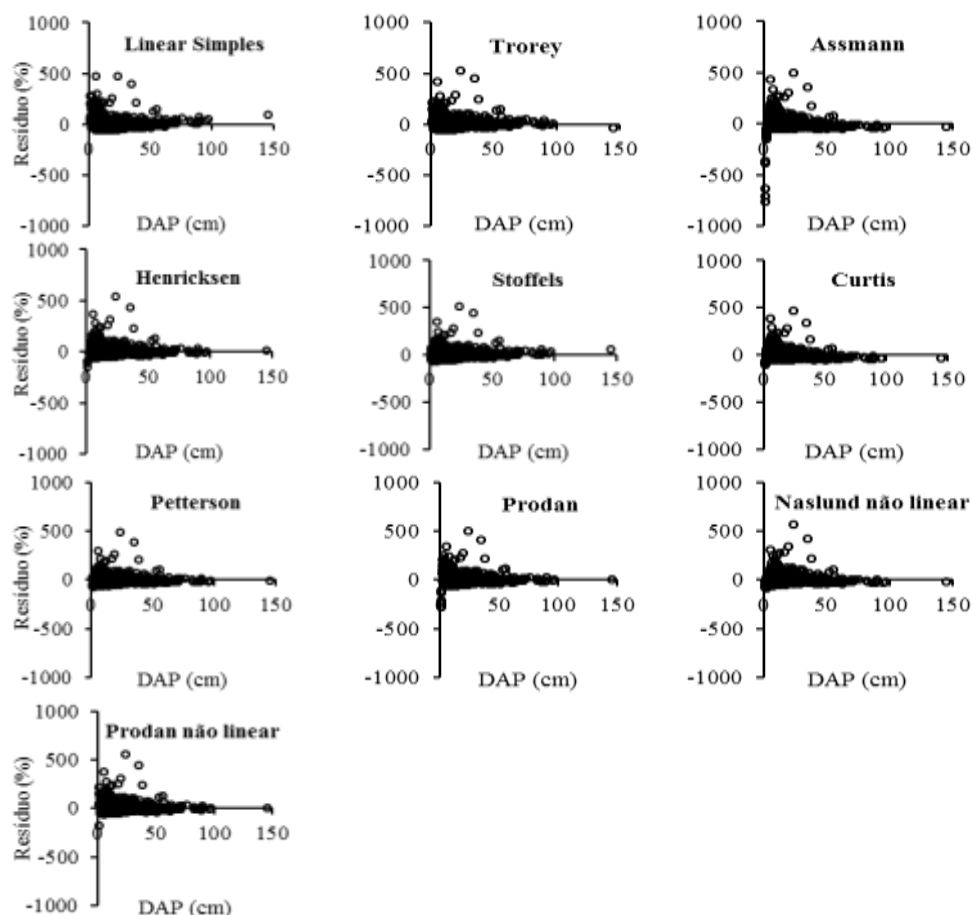
Na Tabela 2 estão apresentados os resultados estatísticos gerados pelas dez equações de relação hipsométrica ajustadas para todo o conjunto de dados, sem estratificação. Os coeficientes e os ajustes foram significativos para todas as equações, indicando que as equações retratam a relação quantitativa da altura em função do diâmetro. Os valores de  $S_{yx}$  (%) variaram de 28,36 a 33,96% e de  $R^2_{aj.}$  de 0,20 a 0,93.

A correlação entre altura e diâmetro em florestas inequianas é naturalmente baixa, gerando baixos valores de  $R^2_{aj.}$  no ajuste de modelos de relação hipsométrica, conforme resultados apresentados na Tabela 2. Assim, os modelos ajustados para todo o conjunto de dados no presente estudo, apesar de resultar em baixos valores de  $R^2_{aj.}$  apresentam-se semelhantes aos observados por Staub et al. (2014) em plantios de restauração contendo com espécies nativas da Mata Atlântica, localizados no município de Seropédica, RJ, sendo o mesmo município em que o presente trabalho foi desenvolvido. Os valores de erros para ambos trabalhos também se apresentaram semelhantes.

No entanto, há resultados melhores para descrever a relação altura e diâmetro em florestas

nativas, com  $R^2_{aj.}$  mais altos e erros mais baixos, como observados por Curto et al. (2014) em Floresta Estacional Semidecidual no Espírito Santo e, por Curto et al. (2018) em Floresta de transição entre Cerrado e Amazônia no Mato Grosso. Deste modo, é possível verificar que a relação entre a altura e o diâmetro podem ser influenciadas pelo sítio, idade, densidade, espécie, dentre outros fatores (Araújo et al., 2012; Hess et al., 2014).

A distribuição gráfica dos resíduos apresentou-se com comportamento semelhante para todos os modelos ajustados (Figura 1), indicando maior heterogeneidade para diâmetros menores e maior homogeneidade para diâmetros maiores.



**Figura 1.** Dispersão gráfica dos resíduos para os modelos de relação hipsométrica ajustados.

Estudos realizados por Sanquetta et al. (2013) e Andrade et al. (2015), sobre relação hipsométrica em florestas nativas, constataram a distribuição da frequência dos indivíduos por classe diamétrica com tendência exponencial negativa, característica das florestas inequianas. Essa característica explica a tendência de ocorrer maior heterogeneidade dos resíduos às alturas cujos diâmetros são menores (Figura 1), pois concentra maior quantidade de árvores com diâmetros inferiores e menor quantidade de árvores nas maiores classes de diâmetro. Esse comportamento, pode ser também explicado pela não uniformidade dos indivíduos que

se encontram nas florestas inequianas, cujas idades são diferentes e os estágios de regeneração são variados (Lima & Leão, 2013), o que demonstra a necessidade de estratificação dos dados.

Por apresentar menor erro padrão da estimativa percentual, o modelo de Trorey foi selecionado para ser ajustado por estratos quanto ao grupo ecológico, espécie e classes de diâmetro.

Os coeficientes e as estatísticas de ajuste em cada grupo de estratos para o modelo hipsométrico de Trorey estão apresentados na Tabela 3. Para a estratificação por classe diamétrica, observou-se que a maioria dos ajustes foram não significativos e

nos casos em que houve significância do ajuste do modelo, pelo teste F, os coeficientes da regressão foram não significativos pelo teste *t*. Isso demonstra que a estratificação dos dados utilizando esse critério de estratificação não contribuiu para explicar

as variações de altura em função das variações em diâmetro. Sendo assim, as equações ajustadas apresentaram baixos valores de coeficientes de determinação ajustado.

**Tabela 3.** Parâmetros estatísticos do modelo de Trorey, para todo o banco de dados e para os estratos gerados.

Classe	N	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	F
Ajuste Geral Para Todo Banco de Dados (A)	1.547	6,4677*	0,3532*	-0,0020*	0,4958	28,36	761,14 <sup>s</sup>
Ajuste Geral Para as Cinco Espécies (B)	1.174	6,0020*	0,4515*	-0,0036*	0,4950	27,49	576,04 <sup>s</sup>
Grupo Ecológico	N	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	F
Clímax	24	6,1030*	0,2251*	-0,0008*	0,819	15,19	53,30 <sup>s</sup>
Pioneira	833	4,9849*	0,4752*	-0,0037*	0,581	26,46	579,29 <sup>s</sup>
Secundária Inicial	528	6,6553*	0,4229*	-0,0033*	0,363	29,89	151,08 <sup>s</sup>
Secundária Tardia	44	5,1949*	0,4105*	-0,0025*	0,651	26,01	41,15 <sup>s</sup>
Sem classificação	118	5,0195*	0,4041*	-0,0026*	0,572	25,45	79,34 <sup>s</sup>
Espécies	N	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	F
<i>A. guachapele</i>	647	5,2916*	0,4622*	-0,0035*	0,590	25,47	466,83 <sup>s</sup>
<i>L. lactescens</i>	294	3,3166*	1,0959*	-0,0181*	0,480	24,98	136,39 <sup>s</sup>
<i>E. pulchrum</i>	158	5,8792*	0,2782*	0,0010 <sup>ns</sup>	0,523	22,87	87,15 <sup>s</sup>
<i>P. gonoacantha</i>	40	2,6393 <sup>ns</sup>	0,7864*	-0,0098 <sup>ns</sup>	0,538	26,88	23,70 <sup>s</sup>
<i>S. leucanthum</i>	35	2,1331 <sup>ns</sup>	0,9236*	-0,0138*	0,645	22,25	31,94 <sup>s</sup>
Classe de Diâmetro (cm)	N	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	R <sup>2</sup> <sub>aj.</sub>	S <sub>yx</sub> (%)	F
05 † 10	682	2,6482 <sup>ns</sup>	0,9185 <sup>ns</sup>	-0,0119 <sup>ns</sup>	0,138	31,29	55,59 <sup>s</sup>
10 † 15	298	15,5475 <sup>ns</sup>	-1,1610 <sup>ns</sup>	0,0625 <sup>ns</sup>	0,025	28,00	4,82 <sup>s</sup>
15 † 20	178	17,4809 <sup>ns</sup>	-0,8965 <sup>ns</sup>	0,0360 <sup>ns</sup>	0,009	28,94	1,84 <sup>s</sup>
20 † 25	111	-7,0313 <sup>ns</sup>	1,4681 <sup>ns</sup>	-0,0240 <sup>ns</sup>	0,003	25,68	1,19 <sup>s</sup>
25 † 30	77	3,4696 <sup>ns</sup>	0,7486 <sup>ns</sup>	-0,0114 <sup>ns</sup>	-0,024	22,61	0,11 <sup>ns</sup>
30 † 35	55	216,2630 <sup>ns</sup>	-12,5980 <sup>ns</sup>	0,1964 <sup>ns</sup>	-0,019	22,97	0,49 <sup>ns</sup>
35 † 40	36	295,2320 <sup>ns</sup>	-14,6372 <sup>ns</sup>	0,1922 <sup>ns</sup>	-0,044	23,30	0,25 <sup>ns</sup>
40 † 45	27	-353,6954 <sup>ns</sup>	18,0540 <sup>ns</sup>	-0,2185 <sup>ns</sup>	-0,063	25,24	0,23 <sup>ns</sup>
45 † 50	21	1207,4944 <sup>ns</sup>	-50,1950 <sup>ns</sup>	0,5289 <sup>ns</sup>	-0,012	21,32	0,88 <sup>s</sup>
≥ 50	62	16,3701*	0,0461 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	-0,006	19,04	0,79 <sup>s</sup>

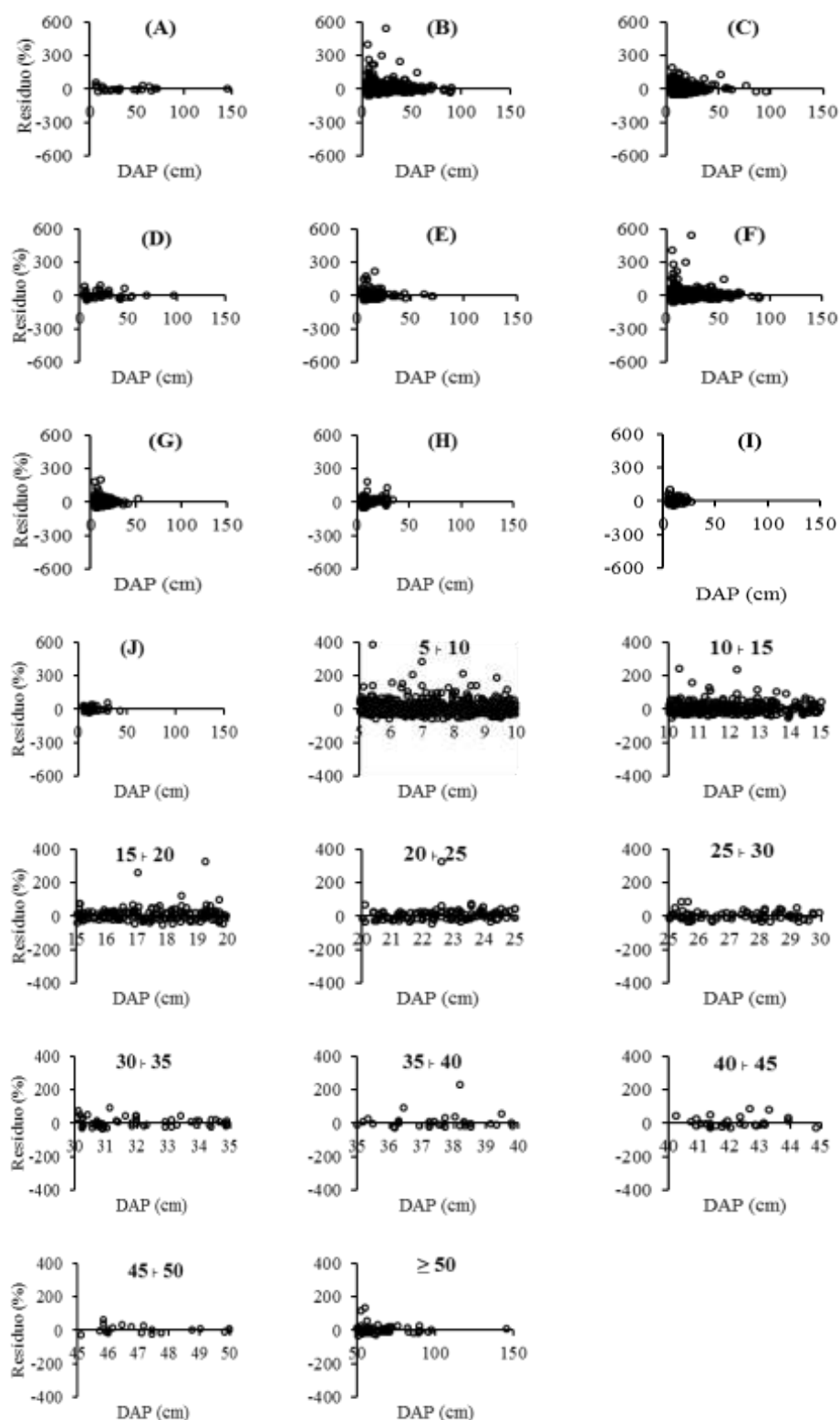
(\*) significativo para o teste *t*, 5% de probabilidade; (s) significativo e (ns) não significativo para estatística F, 5% de probabilidade; (n) número de indivíduos; ( $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ) coeficientes obtidos para o modelo de Trorey; (R<sup>2</sup><sub>aj.</sub>) coeficiente de determinação ajustado; (S<sub>yx</sub>%) erro padrão da estimativa percentual; (F) valor calculado do teste F da análise de variância.

Por se tratar de uma floresta ineqüânea, as árvores crescem de modos distintos, pois utilizam os recursos disponíveis, como água, luz, nutrientes e espaço, conforme suas exigências das quais favorecem o seu desenvolvimento. Além disso, seu habitat é complexo e as interações entre as espécies influenciam direta e indiretamente no crescimento arbóreo, de modo que agrupam-se em relação as suas exigências ambientais e aos locais onde se adaptam, formando grupos ecológicos ou funcionais.

Assim, a estratificação, tanto por espécie quanto por grupo ecológico, diferentemente da estratificação por classe diamétrica, na maioria dos estratos propiciaram ajuste e coeficientes de regressão significativos, demonstrando a melhoria que estes critérios proporcionam às equações ajustadas. Tais melhorias foram semelhantes às obtidos por Curto et al. (2014) ao estratificarem os dados de diâmetro e altura por espécie. Trautenmüller et al. (2014), ao estratificar os dados de diâmetro e altura de uma floresta Estacional Decidual em classes diamétricas, também

identificaram coeficientes não significativos na maioria das classes, evidenciando que a estratificação proposta não foi vantajosa.

A dispersão dos resíduos apresentou maior amplitude quando o modelo de Trorey foi ajustado para as classes de diâmetro de 5 a 10, de 10 a 15 e de 15 a 20 cm (Figura 2). A partir daí a dispersão dos resíduos torna-se homogênea. Segundo Curto et al. (2014), a dispersão heterogênea dos resíduos nas menores classes de diâmetro ocorre devido à presença de árvores mais finas, porém, com grande variação de altura, englobando diferentes espécies e grupos ecológicos, com diferentes idades e características de crescimento distintas. Assim, esse efeito se reduz nas maiores classes de diâmetro ou quando o ajuste é realizado por espécie e grupo ecológico.



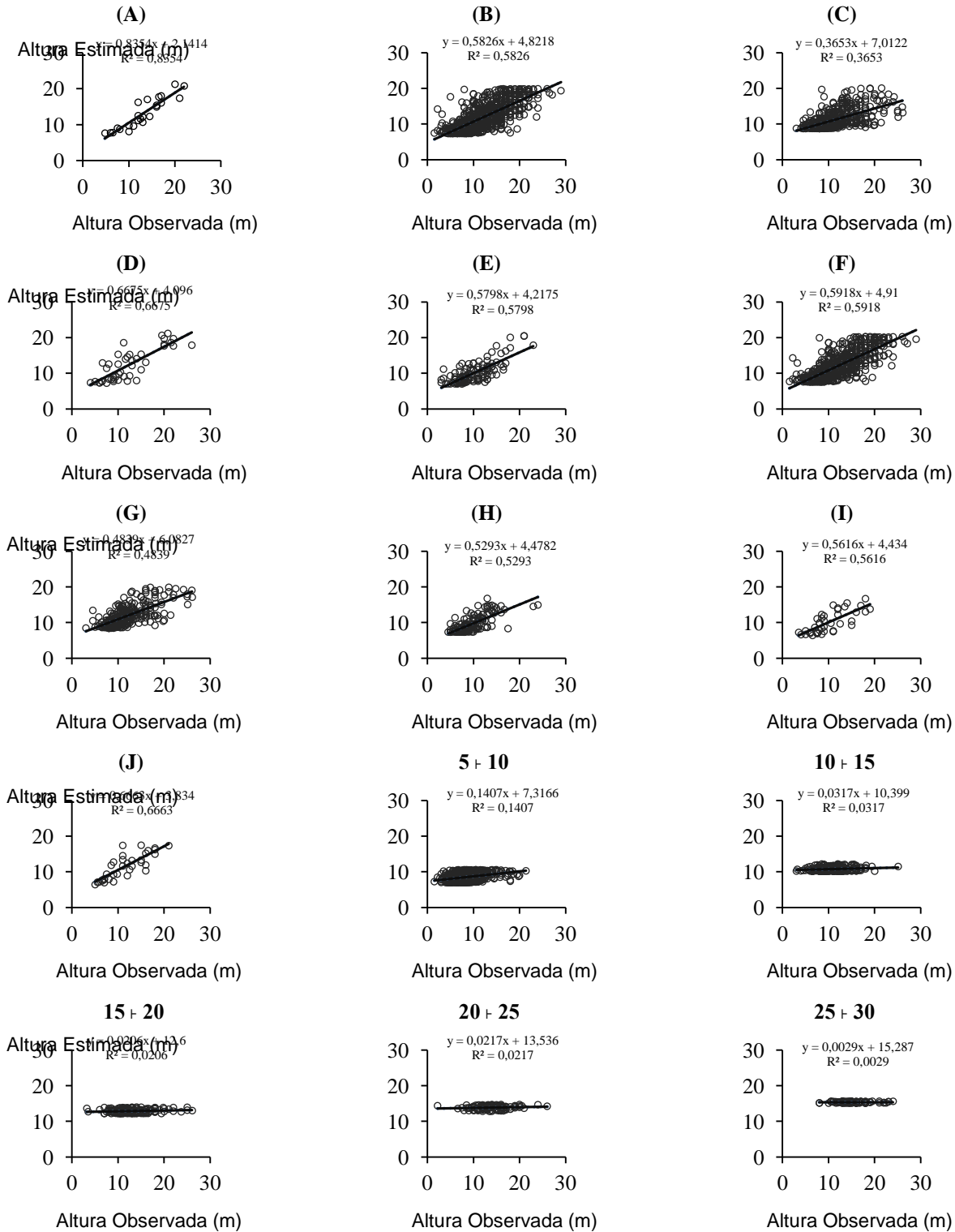
**Figura 2.** Gráfico de resíduos das estimativas do modelo de Trorey para cada item da estratificação. (A) clímax; (B) pioneira; (C) secundária inicial; (D) secundária tardia; (E) sem classificação (F) *A. guachapele*; (G) *L. lactescens*; (H) *E. pulchrum*; (I) *P. gonoacantha* (Mart.); (J) *S. leucanthum*.

Ao visualizar os valores de altura estimados em função dos observados (Figura 3), percebe-se que o ajuste por classe diamétrica gerou uma reta paralela ao eixo das coordenadas. Uma vez que o ajuste por classes de diâmetro resultou em retas paralela ao

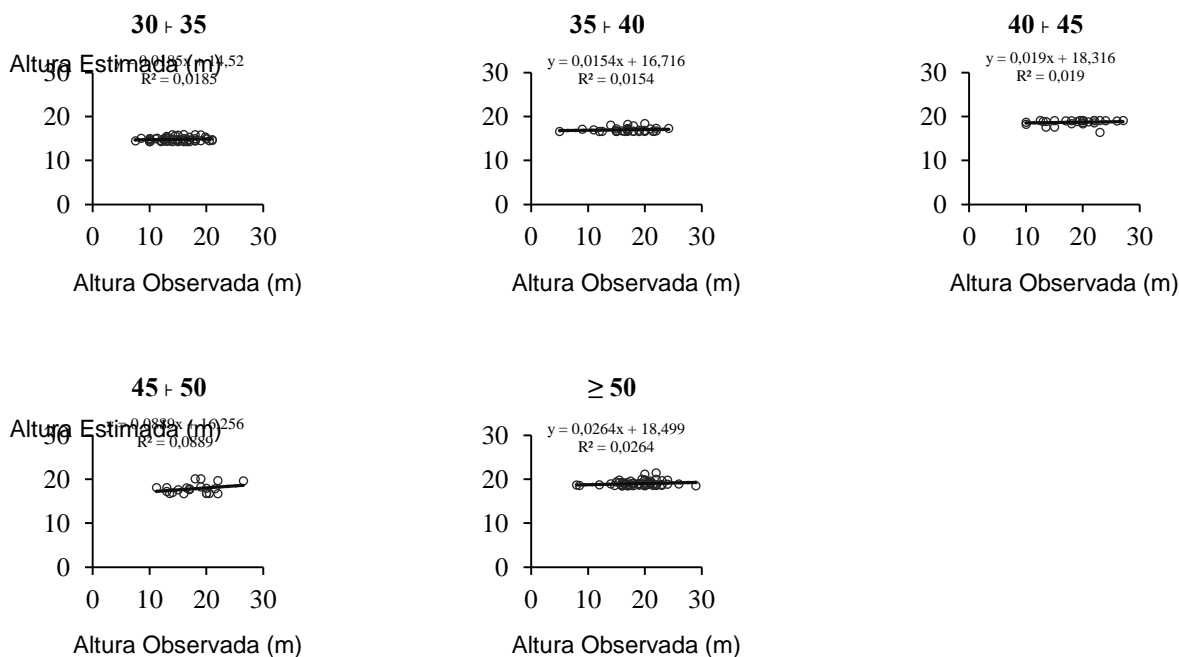
eixo das coordenadas, quando plotadas as alturas estimadas em função das observadas (Figura 3), tais equações não são recomendadas para estimar a altura, isso porque, segundo Levine et al. (2017), em modelos de regressão, cada parâmetro

associado a variáveis independentes, representam a inclinação da variável dependente (Y) em relação à variável independente (X) a ele relacionada, já o parâmetro  $\beta_0$  representa o valor médio de Y quando as variáveis independentes são iguais a zero. Deste modo, os resultados retratam a não significância dos coeficientes do modelo, indicando não existir

uma relação quantitativa direta entre a altura e diâmetro das árvores agrupadas por classes de diâmetro e que um valor médio de altura é suficiente para representar cada classe.



Continua ...



**Figura 3.** Gráfico de validação das estimativas do modelo de Trorey para cada item da estratificação. (A) clímax; (B) pioneira; (C) secundária inicial; (D) secundária tardia; (E) sem classificação; (F) *A. guachapele*; (G) *L. lactescens*; (H) *E. pulchrum*; (I) *P. gonoacantha*; (J) *S. leucanthum*.

O teste de identidade entre modelos (Graybill, 2000; Araújo et al., 2012; Martins et al., 2015; Rodrigues et al., 2017), garantiu resultados consistentes sobre o agrupamento de dados, pautado na análise de variância, considerando as somas dos quadrados da regressão dos dados sem a estratificação e com a estratificação (Tabela 4). Na análise de variância, os valores encontrados da estatística F foram comparados ao valor tabelado, sendo que, para os estratos de Classe Diamétrica, Espécies e Grupo Ecológico, os valores de  $F_{\text{calculado}}$  foram -26,9322, 10,0657 e 6,4017, respectivamente e  $F_{\text{tabelado}}$  foram 1,4930, 1,7605 e 1,7584, respectivamente.

Ao comparar  $F_{\text{calculado}}$  com  $F_{\text{tabelado}}$ , observa-se a não rejeição da hipótese nula para a estratificação dos dados por classe diamétrica, definindo que não houve diferença entre o ajuste do modelo para os dados estratificados e sem estratificação. A estratificação foi significativa quando os dados foram estratificados por grupo ecológico e por espécie.

O teste de identidade entre modelos permitiu confirmar que a estratificação dos dados por classe diamétrica não diferiu do ajuste para os dados sem estratificação. Já o ajuste do modelo por grupo

ecológico e por espécie, indicou tendência dos valores estimados em função dos observados, com uma reta de inclinação próxima de  $45^\circ$  ( $\beta_1=1$ ) e passando pela origem ( $\beta_0=0$ ), além de coeficiente de determinação mais próximos de 1. Estes resultados foram melhores para as equações ajustadas por grupo ecológico, demonstrando esse ser um critério importante a ser utilizado no ajuste de modelos de relação hipsométrica em florestas inequidiana. A superioridade obtida com a estratificação por espécie e por grupo ecológico pode ser confirmada também pela verificação da diferença entre os modelos ajustados sem estratificar os dados, quando foi realizada a comparação pelo teste de identidade entre modelos, uma vez que estratificar os dados gerou resultados diferentes do ajuste com todo o banco de dados. Tais resultados destacam a importância em se efetuar estratificações de acordo com características distintas entre os indivíduos, visando obter estimativas mais exatas da altura das árvores na floresta.



Tabela 4. Soma dos quadrados da regressão, dos resíduos e dos totais de cada ajuste do modelo de Trorey dos bancos de dados A, B e seus estratos.

<b>Classes</b>	<b>SQ<sub>reg</sub></b>	<b>SQ<sub>res</sub></b>	<b>SQ<sub>total</sub></b>
Ajuste Geral Para Todo Banco de Dados (A)	15.663,98	15.887,47	31.551,45
Ajuste Geral Para as Cinco Espécies (B)	11.610,28	11.800,87	23.411,14
<b>Grupo Ecológico</b>	<b>SQ<sub>reg</sub></b>	<b>SQ<sub>res</sub></b>	<b>SQ<sub>total</sub></b>
Clímax	416,45	82,03	498,48
Pioneira	10.829,81	7.758,35	18.588,16
Secundária Inicial	3.295,85	5.726,41	9.022,26
Secundária Tardia	844,75	420,82	1.265,56
Sem classificação	1.035,74	750,58	1.786,31
<b>Espécies</b>	<b>SQ<sub>reg</sub></b>	<b>SQ<sub>res</sub></b>	<b>SQ<sub>total</sub></b>
<i>A. guachapele</i>	8.766,80	6.047,02	14.813,82
<i>L. lactescens</i>	2.364,01	2.521,78	4.885,79
<i>E. pulchrum</i>	824,97	733,66	1.558,63
<i>P. gonoacantha</i>	350,60	273,63	624,23
<i>S. leucanthum</i>	417,67	209,20	626,88
<b>Classe de Diâmetro (cm)</b>	<b>SQ<sub>reg</sub></b>	<b>SQ<sub>res</sub></b>	<b>SQ<sub>total</sub></b>
05 + 10	789,70	4.822,39	5.612,09
10 + 15	87,37	2.668,79	2.756,16
15 + 20	51,02	2.426,92	2.477,94
20 + 25	30,21	1.363,63	1.393,84
25 + 30	2,60	889,28	891,88
30 + 35	11,34	600,65	611,99
35 + 40	8,09	516,73	524,82
40 + 45	10,31	533,37	543,68
45 + 50	25,43	260,54	285,97
≥ 50	20,92	772,56	793,48

(SQ<sub>reg</sub>) soma dos quadrados da regressão; (SQ<sub>res</sub>) soma dos quadrados dos resíduos; (SQ<sub>total</sub>) soma dos quadrados do total.

### Conclusões

Para o ajuste de modelos de relação hipsométrica, a estratificação de dados por grupo ecológico e por espécie contribuiu de forma significativa para a melhoria da precisão das equações, sendo que a estratificação por grupo ecológico proporcionou melhores resultados.

A estratificação dos dados em classes diamétricas não aumentou a precisão das equações hipsométricas ajustadas no fragmento de floresta inequiana, e, nesse caso, a altura média de cada classe pode ser suficiente para representar as alturas das árvores.

### Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507

ANDRADE, V. C. L. DE; MARTINS, S. V.; CALEGÁRIO, N. CHICHORRO, J. F. Influência de três sistemas de amostragem na estimativa da relação hipsométrica e do volume de árvores em um fragmento de Mata Atlântica. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 70, p. 31-37, 2006.

ANDRADE, V. C. L. DE; KROETZ, E. A.; NICOLA,

A.; SOUZA, P. B. DE; NOHAMA, F. K.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S. Amostragem e agrupamento de dados de relação hipsométrica em inventários florestais de Cerrado Tocantinense. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 35, n. 83, p. 227-238, 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.83.683

ARAÚJO, E. J. G. DE; PELISSARI, A. L.; DAVID, H. C. SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETTO, S.; MORAIS, V. A. Relação hipsométrica para candeia (*Eremanthus erythropappus*) com diferentes espaçamentos de plantio em Minas Gerais, Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo v. 32, n. 71, p. 257-268, 2012. DOI: 10.4336/2012.pfb.32.71.257

CALEGÁRIO, N.; SCOLOFORO, J. R. S.; SOUZA, A. L. Estratificação em alturas para floresta natural heterogênea: uma proposta metodológica. *Cerne*, Lavras, v. 1, n. 1, p. 58-63, 1994.

CURTO, R. A.; LOUREIRO, G. H.; MÔRA, R.; MIRANDA, R. O. V. DE; PÉLLICO NETTO, S.; SILVA, G. F. Relações hipsométricas em floresta estacional semidecidual. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v. 57, n. 1, p. 57-66, jan./mar. 2014. DOI: 10.4322/rca.2013.066

- CURTO, R. A.; WINK, C.; ARAÚJO, E. J. G.; KOHLER, S. V. Modelos de relação hipsométrica por classe de aproveitamento em floresta de transição Cerrado-Amazônia no Mato Grosso. *Enciclopédia biosfera*, Goiânia, v.10, n.18, p. 687-700, 2018.
- GRAYBILL, F. A. Theory and application of the linear model. Belmont: Duxbury, 2000.
- HESS, A. F.; BRAZ, E. M.; THAINES, F.; MATTOS, P.P. DE. Adjustment of the hypsometric relationship for species of Amazon Forest. *Ambiência*, Guarapuava, v. 10, n. 1, p. 21-29, 2014. DOI: 10.5935/ambiencia.2014.01.02
- LEVINE, D. M.; STEPHAN, D. F.; SZABAT, K. A. *Estatística: Teoria e Aplicações*. 7ª Ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2017. 760 p.
- LIMA, J. P. DA C.; LEÃO, J. R. A. Dinâmica de Crescimento e Distribuição Diamétrica de Fragmentos de Florestas Nativa e Plantada na Amazônia Sul Ocidental. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 70-79, 2013.
- MACHADO, S. A.; NASCIMENTO, R. G. M.; AUGUSTYNICZIK, A. L. D.; SILVA, L. C. R. DA S.; FIGURA, M. A.; PEREIRA, E. M.; TEO, S. J. Comportamento da relação hipsométrica de *Araucaria angustifolia* no capão da Engenharia Florestal da UFPR. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, n. 56, p. 5-16, 2008.
- MARTINS, R. M.; LEITE, M. V. S.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. L. Teste de identidade de modelos volumétricos para povoamentos de *Eucalyptus* sp. em sete Municípios de Minas Gerais. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 1818-1833, 2015.
- REVEAL, J. L.; CHASE, M. W. APG III: Bibliographical information and synonymy of Magnoliidae. *Phytotaxa*, Auckland, v. 19, p. 71-134, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.11646/phytotaxa.19.1.4>
- RODRIGUES, C. K.; LOPES, E. DA S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; PELISSARI, A. L. Identidade de modelos hipsométricos e volumétricos de povoamentos de pinus com diferentes idades submetidos ao desbaste mecanizado. *BIOFIX Scientific Journal*, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 54-59, 2017. DOI: 10.5380/biofix.v2i1.51947
- SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; ROGL, A.; PIMENTEL, A. Relações diâmetro-altura para espécies lenhosas em um fragmento de floresta ombrófila mista no sul do Paraná. *Iheringia*, Porto Alegre, v. 68, n. 1, p. 103-114, 2013.
- SANTOS, F. M.; BALIEIRO, F. C.; ATAÍDE, D. H. DOS S.; DINIZ, A. R.; CHAER, G. M. Dynamics of aboveground biomass accumulation in monospecific and mixed-species plantations of *Eucalyptus* and *Acacia* on a Brazilian sandy soil. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam v. 363, p. 86-97, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.028>
- SCOLFORO, J. R. S. *Biometria florestal: parte I: modelos de regressão linear e não linear; parte II: modelos para relação hipsométrica, volume, afilamento e peso de matéria seca*. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 352 p.
- SILVA, G. F.; CURTO, R. A.; SOARES, C. P. B.; PIASSI, L. C. Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 341-348, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000200015
- STAUB, C. M. M.; SANQUETTA, C. R.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, M. N. I.; VASCONCELLOS, B. N. Equações hipsométricas para plantios mistos de restauração florestal na Mata Atlântica em Seropédica-RJ. *Enciclopédia biosfera*, Goiânia, v.10, n.18, 2014.
- TRAUTENMÜLLER, J. W.; BALBINOT, R.; GONZATTO, G. L.; WATZLAWICK, L. F.; VENDRUSCOLO, R. Relação hipsométrica em Floresta Estacional Decidual. *Enciclopédia biosfera*, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 1633-1641, 2014.