

Artigos

Agrupamento de dados para ajustes de modelos hipsométricos e volumétricos em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Data grouping to fit height-diameter and volume models of *Pinus oocarpa* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Plínio Carielo^I , Julio Eduardo Arce^{II} , Afonso Figueiredo Filho^{III} ,
Allan Libanio Pelissari^{II} , Sintia Valerio Kohler^{IV} ,
Fabiane Aparecida de Souza Retslaff^{III} , Alexandre Behling^{II} 

^IEscola Técnica Estadual Dr. Antônio Eufrásio de Toledo, Presidente Prudente, SP, Brasil

^{II}Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

^{III}Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, PR, Brasil

^{IV}Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauebas, PA, Brasil

RESUMO

Comparou-se por meio do teste de identidade de modelos estratégias de agrupamento de dados para o ajuste de modelos hipsométricos e volumétricos com o intuito de otimizá-los. A área de estudo tem 248,22 ha com plantio de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, divididos em talhões com idades entre 10 e 16 anos. A área foi inventariada por amostragem utilizando o método de área fixa com 7 parcelas retangulares de 600 m² distribuídas de forma sistemática em cada povoamento. Diferentes estratégias de agrupamento de dados foram comparadas, a fim de verificar se uma única equação (modelo reduzido) poderia representar diferentes fontes de variação, como parcelas, espécies e idades, em vez de uma equação para cada fonte de variação (modelo completo). Os modelos selecionados para aplicação nas diferentes estratégias de agrupamentos foram avaliados com base no erro padrão da estimativa (S_{yx} %), coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) e análise gráfica dos resíduos. As equações ajustadas para cada estratégia foram submetidas ao teste de identidade de modelos. Constatou-se que em nível de parcela não deve ser utilizada uma equação hipsométrica única (modelo reduzido) para representar todas as parcelas de um inventário, mesmo considerando a espécie e/ou idade. Em relação à variável volume, foi observado, para as espécies *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que uma única equação pode ser utilizada para estimar o volume total das duas espécies desde que estejam com a mesma idade, enquanto para idades diferentes recomenda-se o ajuste em nível de povoamento.

Palavras-chave: Estimativas de alturas; Estimativas de volume; Identidade de modelos; Modelos de regressão

ABSTRACT

It was compared data grouping strategies by different models of identity test to fit height-diameter and volume models in order to optimize them. The area under study has 248,22 ha with *Pinus oocarpa* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* stands, divided in plots among 10 and 16 years-old. This area was inventoried by fixed area sampling with 7 rectangular plots of 600 m² distributed in a systematic in each stand. Different strategies for data grouping were compared, checking if only one equation (general model) could represent different sources of variation such as plots, species, and ages, instead of one equation to each source of variation (complete model). The selected models used in different grouping strategies were evaluated based on standard error of estimate (S_{yx} %), adjusted coefficients of determination (R^2 aj.) and graphical residues analysis. The fitted equations to each strategy were submitted to model identity test. It was found that related to plots should not be used a single height-diameter equation (general model) to represent all the plots in an inventory even if it is of the same species and/or age. In relation to volume it was observed for the species *Pinus oocarpa* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* that a single equation can be used to estimate the total volume of two species since at the same age, while for different ages it is recommended the fitting for stand level.

Keywords: Height estimates; Volume estimates; Model identity; Regression models

1 INTRODUÇÃO

Os inventários florestais são a base para o mapeamento, definição de estratégias e planejamento do uso dos recursos florestais (KÖHLER, 2017). Após o plantio e durante o crescimento da floresta, realizar inventários florestais são de extrema importância para monitorar o crescimento, avaliar a produtividade, definir a produção e épocas de intervenções, de modo a permitir o pleno desenvolvimento e utilização dos recursos florestais existentes na floresta.

Segundo Scolforo e Mello (2006), o inventário florestal consiste no uso de fundamentos da teoria de amostragem para a determinação ou estimação de características quantitativas ou qualitativas da floresta inventariada. Dentre as principais características quantitativas, tem-se o volume, os sortimentos da madeira e a biomassa. O volume se constitui em uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial madeireiro disponível em um povoamento florestal, considerando que esse parâmetro fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS *et al.*, 2006).

Para estimar o volume sólido de madeira em pé (v) de uma floresta, é preciso realizar procedimentos de cubagem, bem como as medições em campo das variáveis dendrométricas, diâmetro à altura do peito (d) e altura total (h). Posteriormente, é necessário ajustar relações matemáticas entre essas variáveis, por meio de análise de regressão, com o intuito de diminuir despesas, tempo e quantidade de dados coletados em campo, sem que ocorra a perda da informação das estimativas realizadas. Entretanto, essa técnica acaba gerando uma infinidade de equações que devem ser analisadas segundo critérios estatísticos, para que seja selecionada a melhor e utilizada num determinado procedimento de inventário florestal.

De acordo com Regazzi (2003), a aplicação de relação matemática costuma ser realizada para cada situação analisada, ou seja, a análise de regressão é empregada separadamente, obtendo-se tantas equações quanto o número de situações encontradas. Isso acaba gerando um grande dispêndio de tempo e erros não amostrais de estimativas difíceis de serem identificados, provenientes da seleção errada de equações em virtude da grande quantidade de equações ajustadas.

Em virtude disso, existe interesse em saber se um conjunto de equações ajustadas para diferentes situações podem ser substituídas por uma única equação, que inclua todas as situações analisadas (REGAZZI; SILVA, 2010). Dentro desse contexto, o teste de identidade de modelos destaca-se como uma importante ferramenta na avaliação da influência das diversas variáveis dos povoamentos sobre as equações geradas nas estimativas de parâmetros dendrométricos (RODRIGUES *et al.*, 2017). Existem disponíveis na literatura vários estudos sobre o teste de identidade de modelos, dentre eles: Regazzi (1993), Regazzi e Silva (2004), Regazzi e Silva (2010), Camolesi *et al.* (2010), Kurchaidt *et al.* (2014), Vendruscolo *et al.* (2014), Mendonça *et al.* (2015), Martins *et al.* (2015), Aragão *et al.* (2016), Nicoletti *et al.* (2016) e Rodrigues *et al.* (2017).

Dessa forma, esta pesquisa buscou avaliar estratégias de agrupamentos de dados para o ajuste de modelo hipsométrico e volumétrico, em plantios de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénecl.), W.H. Barret & Golfari – com diferentes idades, com o intuito de reduzir o número de equações ajustadas para análise e seleção.

As hipóteses testadas foram: a) as estimativas de altura para todo um talhão são estatisticamente iguais às estimativas por parcela; b) as estimativas de altura para diferentes idades são estatisticamente iguais às estimativas para cada idade separadamente; c) as estimativas de altura para duas espécies diferentes são estatisticamente iguais às estimativas para cada espécie; d) as estimativas de altura para toda a área inventariada com duas espécies em diferentes idades são estatisticamente iguais às estimativas para cada espécie em cada idade; e) as estimativas de volume com diferentes idades são estatisticamente idênticas às estimativas para cada idade separadamente; f) a estimativa de volume com duas espécies diferentes é estatisticamente igual às estimativas para cada espécie; e g) a estimativa de volume para toda a área inventariada com duas espécies em diferentes idades é estatisticamente igual para cada espécie em cada idade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do local

Os dados utilizados foram coletados em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* pertencentes a uma empresa florestal, com sede no município de Rancharia, que fica na região Oeste do estado de São Paulo. Apresenta altitude de 540 m e topografia plana. Segundo a classificação de Köppen, o clima é tropical com inverno seco, apresentando estação chuvosa no verão; sendo os meses de junho e julho os mais frios. A temperatura média anual é de 23,9°C, oscilando entre 17,8°C e 30,4°C. As chuvas somam 1.285 mm por ano, variando entre 32,5 a 211,11 mm (CEPAGRI, 2018).

2.2 Descrição dos dados

Os talhões mensurados nesta pesquisa totalizaram 248,22 ha, sendo 91,33 ha com *Pinus oocarpa* e 156,89 ha com *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. A área plantada com a espécie *Pinus oocarpa* compreendeu talhões com 10, 13 e 16 anos de idade,

enquanto a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi composta por talhões com 13 e 14 anos de idade. Inicialmente foram plantadas 1.667 árvores por hectare. No décimo ano de cada povoamento, realizou-se um desbaste sistemático com intensidade de 20% do número de árvores.

O método de inventário florestal empregado foi o de área fixa, com a medição de 7 parcelas retangulares de 600 m² de área (20 m x 30 m) para cada povoamento. O processo de amostragem utilizado foi o sistemático, com sorteio da posição apenas da primeira parcela.

Em cada parcela, todos os indivíduos tiveram sua circunferência à altura do peito (1,3 m do solo) mensurada com uma fita métrica. Das árvores existentes em cada parcela, 16 tiveram sua altura total medida em campo com auxílio de um clinômetro digital, sendo as 10 primeiras árvores da parcela, mais as 6 árvores dominantes. Com base nos diâmetros à altura do peito, foram determinadas as classes de diâmetros para cada povoamento, utilizando a fórmula de Sturges, para orientar o procedimento de cubagem. O método de cubagem utilizado foi o “Método da altura relativa ou método geométrico” desenvolvido por Andrade (2001). As árvores cubadas foram selecionadas próximas às parcelas mensuradas de forma aleatória, na proporção de 4 árvores para cada classe diamétrica, excluindo árvores bifurcadas abaixo ou acima do diâmetro à altura do peito.

2.3 Estimativas de alturas e volumes

Para avaliar as estratégias de agrupamento de dados, foi necessária a definição de um modelo hipsométrico e um volumétrico para ajuste das equações do modelo completo e do modelo reduzido, que posteriormente foram utilizadas nos testes de identidade. Os modelos selecionados foram Curtis (1967) para relação hipsométrica e Schumacher – Hall (1933) para volume (Tabela 1).

Tabela 1 – Modelos hipsométrico e volumétrico utilizados em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Autor	Modelo	Equação nº
Curtis (1967)	$\ln h = \beta_0 + \beta_1 1/d + \varepsilon_i$	(1)
Schumacher – Hall (1933)	$\ln (v) = \beta_0 + \beta_1 \ln (d) + \beta_2 \ln (h) + \varepsilon_i$	(2)

Fonte: Autores (2018)

Em que: d = diâmetro a 1,3 m do solo (cm); h = altura total (m); \ln = logaritmo neperiano; β_0 , β_1 e β_2 = coeficientes de regressão e ε_i = erro associado.

Ambos os modelos apresentam a variável dependente na escala logarítmica, tornando-se necessário calcular o antilogaritmo desta variável para obtê-la na sua forma real. Durante a realização deste procedimento existe um erro, conhecido como discrepância logarítmica. Para minimizar este erro é preciso utilizar o Fator de Correção de Meyer (Fm).

Os ajustes desses modelos foram realizados por regressão linear e a seleção da melhor equação ajustada por meio da análise de variância, coeficiente de determinação ajustado (R^2 aj.) e erro padrão de estimativa (S_{yx}).

2.4 Estratégias de agrupamentos de dados para ajustes de modelos hipsométricos e volumétricos

Nas Tabelas 2 e 3, estão descritas as estratégias de agrupamento de dados para ajuste dos modelos hipsométrico e volumétrico.

Tabela 2 – Estratégias de agrupamento de dados para o ajuste do modelo hipsométrico de Curtis

Estratégia	Modelo Completo	Modelo Reduzido
1	Ajuste do modelo para cada parcela mensurada de cada talhão. Totalizando 7 equações hipsométricas, ajustadas com 16 pares de h e d cada.	Ajuste do modelo para o talhão, com os dados das 7 parcelas selecionadas. Uma única equação hipsométrica ajustada com 112 pares de h e d .
2	Ajuste do modelo para cada parcela mensurada na espécie <i>Pinus oocarpa</i> nas diferentes idades inventariadas, 10, 13 e 16 anos. Totalizando 21 equações hipsométricas, ajustadas com 16 pares de h e d cada.	Ajuste do modelo para a espécie <i>Pinus oocarpa</i> , com os dados de todas as parcelas, sem separação por idade. Uma única equação hipsométrica ajustada com 336 pares de h e d .
3	Ajuste do modelo para cada parcela mensurada na espécie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> nas diferentes idades inventariadas, 13 e 14 anos. Totalizando 14 equações hipsométricas, ajustadas com 16 pares de h e d cada.	Ajuste do modelo para a espécie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> , com os dados de todas as parcelas, sem separação por idade. Uma única equação hipsométrica ajustada com 224 pares de h e d .
4	Ajuste do modelo para cada parcela das espécies <i>Pinus oocarpa</i> e <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> com 13 anos de idade. Totalizando 14 equações hipsométricas, ajustadas com 16 pares de h e d cada.	Ajuste do modelo para a idade de 13 anos, com os dados de todas as parcelas, sem separação por espécie. Uma única equação hipsométrica ajustada com 224 pares de h e d .
5	Ajuste do modelo para cada parcela mensurada nos talhões das espécies <i>Pinus oocarpa</i> com idade entre 10 e 16 anos, e na espécie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> com 13 e 14 anos. Totalizando 35 equações hipsométricas, ajustadas com 16 pares de h e d cada.	Ajuste do modelo com os dados de todas as parcelas, sem separação por espécie ou idade. Uma única equação hipsométrica ajustada com 560 pares de h e d .

Fonte: Autores (2018)

Tabela 3 – Estratégias de agrupamento de dados para o ajuste do modelo volumétrico de Schumacher - Hall

Estratégia	Modelo Completo	Modelo Reduzido
1	Ajuste do modelo para cada povoamento da espécie <i>Pinus oocarpa</i> . Totalizando 3 equações volumétricas, uma para cada idade; ajustadas com os volumes de 53 árvores cada.	Ajuste do modelo para a espécie <i>Pinus oocarpa</i> nas 3 idades inventariadas juntas (10, 13 e 16 anos). Uma única equação volumétrica ajustada com os volumes de 159 árvores.
2	Ajuste do modelo para cada povoamento da espécie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> . Totalizando 2 equações volumétricas, uma para cada idade; ajustadas com os volumes de 53 árvores cada.	Ajuste do modelo para a espécie <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> nas 2 idades inventariadas juntas (13 e 14 anos). Uma única equação volumétrica ajustada com os volumes de 106 árvores.
3	Ajuste do modelo para cada povoamento com 13 anos de idade. Totalizando 2 equações volumétricas, uma para cada idade; ajustadas com os volumes de 53 árvores cada.	Ajuste do modelo para os povoamentos com 13 anos de idade, sem separação por espécie. Uma única equação volumétrica ajustada com os volumes de 106 árvores.
4	Ajuste do modelo para cada povoamento inventariado. Totalizando 5 equações volumétricas, uma para cada idade e povoamento; ajustadas com os volumes de 53 árvores cada.	Ajuste do modelo com os dados de todos os povoamentos, sem separação por espécie ou idade. Uma única equação volumétrica ajustada com os volumes de 265 árvores.

Fonte: Autores (2018)

2.5 Teste de identidade dos modelos de regressão

A análise de variância utilizada para testar a identidade dos modelos de regressão é apresentada na Tabela 4 e consistiu em comparar os valores da estatística F de Fisher - Snedecor calculado e tabelado ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 4 – Análise de variância para o teste de identidade de modelos

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F
Modelo completo	n_1	SQ.MC		
Modelo reduzido	n_2	SQ.MR		
Diferença	$n_1 - n_2$	SQD	$SQD / (n_1 - n_2)$	QMD/QMR
Resíduos	$N - n_1$	SQR	$SQR / (N - n_1)$	
Total	N	SQT		

Fonte: Autores (2018)

Em que: GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; QM= quadrado médio; F= teste F; MC= modelo completo; MR= modelo reduzido; N= número total de observações SQT= soma de quadrados total; SQR= soma de quadrados do resíduo; SQD= soma de quadrados da diferença; n_1 = número de parâmetros do modelo completo e n_2 = número de parâmetros do modelo reduzido.

A seguir, as equações utilizadas:

$$SQT = \sum y^2 \quad (3)$$

$$SQ.MC = SQT - \sum (y - y_c)^2 \quad (4)$$

$$SQ.MR = SQT - \sum (y - y_r)^2 \quad (5)$$

$$SQD = SQ.MC - SQ.MG \quad (6)$$

$$SQR = SQT - SQ.MC \quad (7)$$

Em que: MC = modelo completo; MR = modelo reduzido; y = variável observada; y_c = variável estimada pelo modelo completo; e y_r = variável estimada pelo modelo reduzido.

Assim, quando o valor calculado da estatística F for maior ou igual ao seu valor tabelado ao nível de 5% de probabilidade, indica que a hipótese de igualdade testada (H_0) foi rejeitada, mostrando que não é possível utilizar uma única equação para estimar a relação hipsométrica ou volumétrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Teste de identidade de modelos para avaliar as estratégias de agrupamento de dados para relação hipsométrica

A relação hipsométrica sofre influência de vários fatores, tais como: sítio, idade, densidade, espécie e a posição sociológica. Isso explica o motivo da equação

hipsométrica reduzida não substituir as equações em nível de parcela na maioria das estratégias avaliadas, pois não faz estratificação de alguns desses fatores que influenciam o desenvolvimento de uma floresta na hora do ajuste do modelo hipsométrico.

Na Tabela 5, são apresentados os resultados do teste de identidade de modelos para as diferentes estratégias de agrupamento de dados.

Observa-se que os valores calculados da estatística F são superiores ao F tabelado em quase todas as estratégias, demonstrando que as equações hipsométricas reduzidas não substituem as equações ajustadas em nível de parcela; exceto para os povoamentos de *Pinus oocarpa* com 16 anos de idade e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 13 anos de idade.

Tabela 5 – Teste de identidade de modelos, estatísticas de ajuste e precisão e coeficientes das equações hipsométricas ajustadas

Estratégia nº	Nº das parcelas	F cal.	F tab.	S _{yx} (m)	S _{yx} (%)	R ² aj.	β ₀	β ₁	FM
1 PO 10 anos	1	9,74	1,85	0,570	3,34	0,681	3,150	-5,581	1,001
	2			0,689	4,30	0,733	3,044	-4,538	1,001
	3			1,006	6,48	0,387	2,991	-4,262	1,002
	4			1,023	6,45	0,386	3,009	-3,906	1,002
	5			0,754	4,59	0,579	3,058	-4,237	1,001
	6			0,967	5,38	0,718	3,242	-6,230	1,001
	7			0,938	5,18	0,562	3,196	-5,171	1,001
	Eq. Reduzida			1,209	7,24	0,471	3,113	-5,054	1,003
1 PO 13 anos	1	3,77	1,85	1,194	6,28	0,113	3,088	-2,682	1,002
	2			1,080	5,45	0,656	3,429	-8,635	1,002
	3			0,687	3,64	0,912	3,341	-7,852	1,001
	4			1,516	7,39	0,626	3,368	-6,470	1,003
	5			1,818	9,04	0,588	3,442	-7,883	1,004
	6			1,267	6,52	0,825	3,368	-7,764	1,003
	7			1,532	7,17	0,567	3,672	-13,626	1,003
	Eq. Reduzida			1,532	7,71	0,627	3,366	-7,295	1,003

Tabela 5 – Conclusão

Estratégia nº	Nº das parcelas	F cal.	F tab.	S _{yx} (m)	S _{yx} (%)	R ² aj.	β ₀	β ₁	FM
1 PO 16 anos	1	1,45	1,85	1,225	6,17	0,662	3,264	-5,809	1,002
	2			1,043	5,08	0,489	3,266	-5,532	1,001
	3			1,276	6,24	0,761	3,469	-9,845	1,002
	4			1,180	6,14	0,792	3,384	-9,041	1,002
	5			1,127	5,59	0,773	3,393	-8,470	1,002
	6			1,483	7,48	0,597	3,348	-7,419	1,003
	7			1,215	5,901	0,610	3,447	-8,980	1,002
	Eq. Reduzida			1,258	6,261	0,698	3,368	-7,890	1,002
1 PCH 13 anos	1	1,66	1,85	1,828	9,99	0,809	3,447	-9,192	1,007
	2			1,547	8,331	0,713	3,355	-7,323	1,004
	3			0,821	4,07	0,858	3,289	-5,555	1,001
	4			0,839	4,405	0,614	3,170	-4,245	1,001
	5			2,267	12,80	0,034	3,205	-5,385	1,011
	6			0,680	3,22	0,619	3,284	-5,339	1,001
	7			1,079	5,16	0,585	3,359	-7,064	1,001
	Eq. Reduzida			1,458	7,51	0,718	3,368	-7,604	1,004
1 PCH 14 anos	1	3,43	1,85	1,843	9,62	0,629	3,682	-13,934	1,005
	2			0,749	3,60	0,771	3,365	-7,070	1,001
	3			1,367	6,74	0,536	3,340	-6,240	1,002
	4			1,365	6,91	0,753	3,613	-11,863	1,003
	5			1,210	6,02	0,608	3,303	-6,344	1,002
	6			1,408	7,25	0,763	3,379	-8,285	1,003
	7			1,274	6,01	0,575	3,349	-5,722	1,002
	Eq. Reduzida			1,519	7,55	0,622	3,411	-8,123	1,003
2	Eq. Reduzida	9,96	1,44	1,675	8,86	0,608	3,339	-7,697	1,004
3	Eq. Reduzida	2,50	1,55	1,496	7,57	0,678	3,387	-7,814	1,004
4	Eq. Reduzida	2,54	1,55	1,495	7,61	0,680	3,370	-7,503	1,004
5	Eq. Reduzida	6,96	1,33	1,648	8,57	0,625	3,359	-7,760	1,004

Fonte: Autores (2018)

Em que: F cal. = F calculado; F tab. = F tabelado; S_{yx} = Erro padrão da estimativa absoluto (m); S_{yx} % = Erro padrão da estimativa relativo; R² aj. = Coeficiente de determinação ajustado; β₁ = Coeficientes de regressão; FM = Fator de correção de Meyer; PO = *Pinus oocarpa* e PCH = *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Continua ...

As estatísticas de precisão obtidas com o uso das equações hipsométricas reduzidas validam o resultado do teste de identidade em relação a não utilização da equação reduzida, pois promoveram, na maioria das vezes, erro de estimativa maior que equações hipsométricas ajustadas em nível de parcela dentro de cada estratégia de agrupamento de dados.

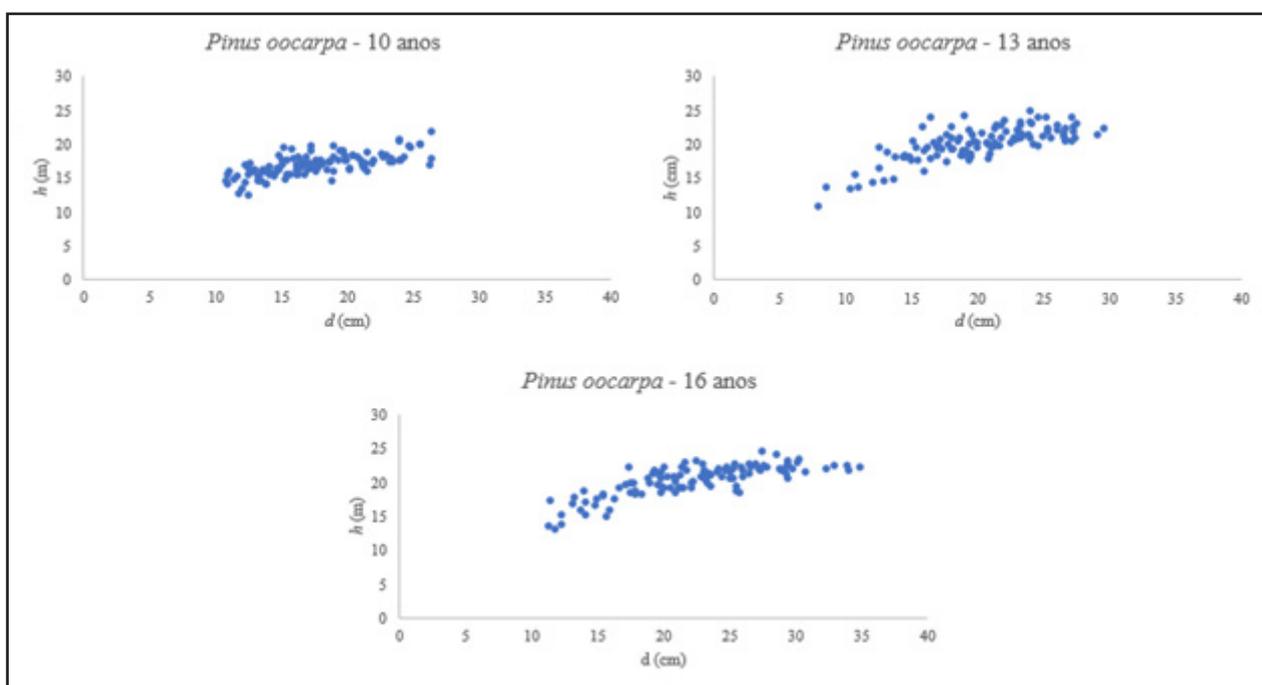
Os valores observados para a estatística R^2 ajustado também apoiam os testes nas equações hipsométricas reduzidas, as quais apresentaram na sua grande maioria valores menores que as equações ajustadas em nível de parcela. Isso é explicado pelo aumento do número de pares de h e d utilizados no ajuste, pois, aumentando o número de pares, aumenta-se o número de árvores com d de diferentes tamanhos com a mesma h e com diferentes h para um mesmo d . Isso pode acarretar perda de relação entre essas variáveis, e, conseqüentemente, redução no valor R^2 ajustado.

Ainda com relação ao R^2 ajustado, observa-se que há perda de correlação entre d e h com o envelhecimento do povoamento, em virtude também da homogeneização das alturas. Isso explica a não significância obtida pelo teste de identidade para a espécie *Pinus oocarpa* aos 16 anos de idade. Assim, as alturas totais são mais semelhantes entre os indivíduos em virtude da redução do incremento em altura, comparativamente ao crescimento em diâmetro ao longo do tempo. Logo, uma única equação é capaz de estimar todas as alturas totais nesse talhão e idade devido à sua pouca variação.

Barros *et al.* (2002), ao avaliarem idade e número de desbastes, identificaram que à medida que os povoamentos vão se tornando mais velhos e com maior número de desbastes, a relação hipsométrica se descaracteriza e as alturas estimadas se aproximam da altura média do povoamento para qualquer que seja o diâmetro à altura do peito. Isso corrobora com o resultado do teste de identidade sobre uma única equação representar todo um talhão na idade de 16 anos para a espécie *Pinus oocarpa*.

Observando a distribuição das alturas nos respectivos diâmetros na espécie *Pinus oocarpa* (Figura 1), percebe-se uma tendência ascendente e curvilínea da relação altura diâmetro para os povoamentos mais novos; e uma tendência em se tornar mais achatada e paralela ao eixo das abcissas para os povoamentos mais velhos.

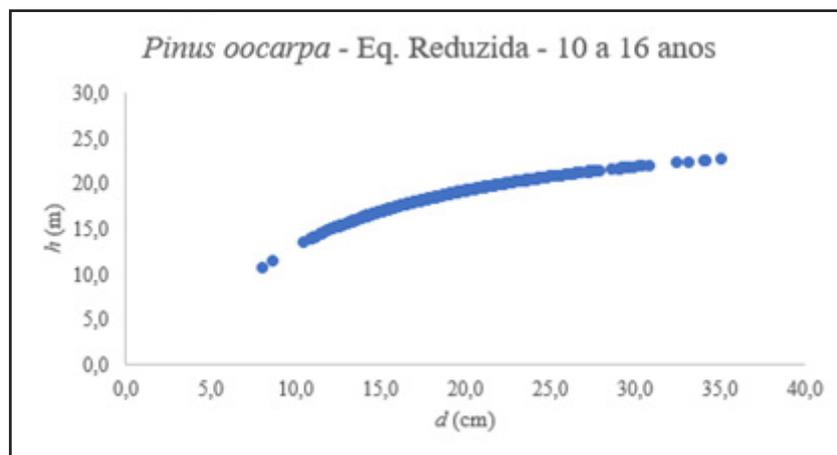
Figura 1 – Distribuição das alturas estimadas vs. Diâmetros para povoamentos de *Pinus oocarpa*



Fonte: Autores (2018)

A distribuição das alturas estimadas pela equação reduzida sobre os diâmetros à altura do peito, na faixa etária de 10 a 16 anos para a espécie *Pinus oocarpa* (Figura 2), corrobora com o resultado do teste de identidade de modelos para a estratégia 2, pois não representa todas as variações observadas nos povoamentos separados. Resultados semelhantes foram obtidos para as demais estratégias, 3, 4 e 5.

Figura 2 – Distribuição das alturas estimadas vs. diâmetros pelo modelo reduzido



Fonte: Autores (2018)

Ribeiro *et al.* (2010), ao avaliarem estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos com dados provenientes de florestas de *Eucalyptus* sp. na região de Eunápolis, estado da Bahia em 3 sítios diferentes, identificaram que o ajuste em nível de parcela apresenta os melhores resultados com relação à precisão, resultado semelhante ao deste trabalho.

3.2 Teste de identidade de modelos para avaliar as estratégias de agrupamento de dados para relação volumétrica

A relação entre volume e diâmetro é expressa por um comportamento exponencial crescente, que mantém a forma ao longo do tempo e que possui uma alta correlação entre as variáveis volume, diâmetro à altura do peito e altura total. Assim, na Tabela 6, pode-se constatar essa alta correlação por meio dos valores de R^2 ajustado, em que os valores são maiores que 0,9 em todas as equações volumétricas ajustadas.

Observa-se também, na Tabela 6, os resultados dos testes de identidade de modelo para as estratégias de agrupamentos de dados volumétricos. Para as estratégias 2 e 3, o valor calculado da estatística F foi inferior ao tabelar, demonstrando que as diferenças entre as equações não foram significativas, ou seja, a equação volumétrica

reduzida ajustada para a idade de 13 anos pode ser utilizada para estimar o volume das duas espécies nesta idade.

Tabela 6 – Testes de identidade de modelos, estatísticas de ajuste e precisão e coeficientes das equações volumétricas ajustadas

Estratégia nº	Povoamento	F cal.	F tab.	S_{yx} (m ³)	S_{yx} (%)	R ² aj.	β_0	β_1	β_2	FM
1	PO 10 anos			0,022	9,99	0,975	-10,033	1,964	0,992	1,005
	PO 13 anos	2,53	2,16	0,034	10,79	0,974	-10,470	2,086	1,017	1,004
	PO 16 anos			0,052	12,71	0,972	-10,094	1,991	0,974	1,008
	Eq. Reduzida			0,039	12,44	0,974	-10,062	2,034	0,927	1,006
2	PCH 13 anos			0,032	9,40	0,983	-10,192	2,044	0,970	1,004
	PCH 14 anos	0,40	2,70	0,048	11,66	0,974	-9,800	2,055	0,828	1,005
	Eq. Reduzida			0,040	10,75	0,978	-9,925	2,066	0,859	1,005
3	Eq. Reduzida <i>Pinus</i> sp. 13 anos	0,82	2,70	0,032	9,81	0,980	-10,305	2,065	0,985	1,004
	4	Eq. Reduzida	2,10	1,79	0,040	11,83	0,976	-10,036	2,041	0,915

Fonte: Autores (2018)

Em que: F cal. = F calculado; F tab. = F tabelado; S_{yx} = Erro padrão da estimativa absoluto (m); S_{yx} % = Erro padrão da estimativa relativo; R² aj. = Coeficiente de determinação ajustado; β_i = Coeficientes ajustados; FM = Fator de correção de Meyer; PO = *Pinus oocarpa*; e PCH = *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Mendonça *et al.* (2015), avaliando a identidade de modelos volumétricos lineares e não lineares, verificaram que a estimativa do volume de árvores das espécies *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus oocarpa* aos 6 anos de idade podem ser feitas a partir de uma única equação de volume ajustada pelo modelo Schumacher e Hall ou Spurr. Esse resultado apoia esta pesquisa com relação a utilização de uma única equação volumétrica para estimar o volume de árvores das espécies desde que estejam com a mesma idade.

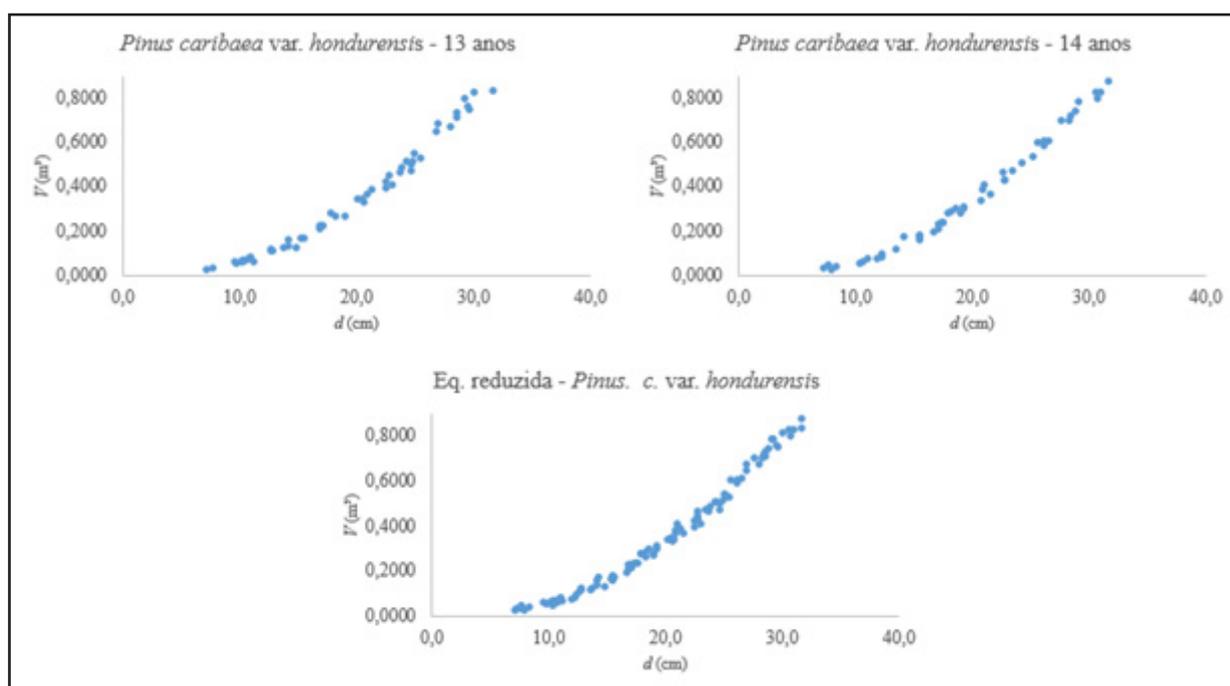
A utilização de apenas uma equação para estimar o volume na idade de 13 anos e nos povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 13 e 14 anos de idade é uma vantagem prática para o inventário florestal, pois pode gerar uma redução

na cubagem de árvores para a obtenção de dados ao ajuste das equações, além da redução do número de equações ajustadas.

Para o intervalo de um ano de idade para a espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, observa-se que a equação reduzida pode ser utilizada no lugar das equações em nível de povoamento. Entretanto, para intervalos maiores que um ano a equação reduzida não pode ser empregada.

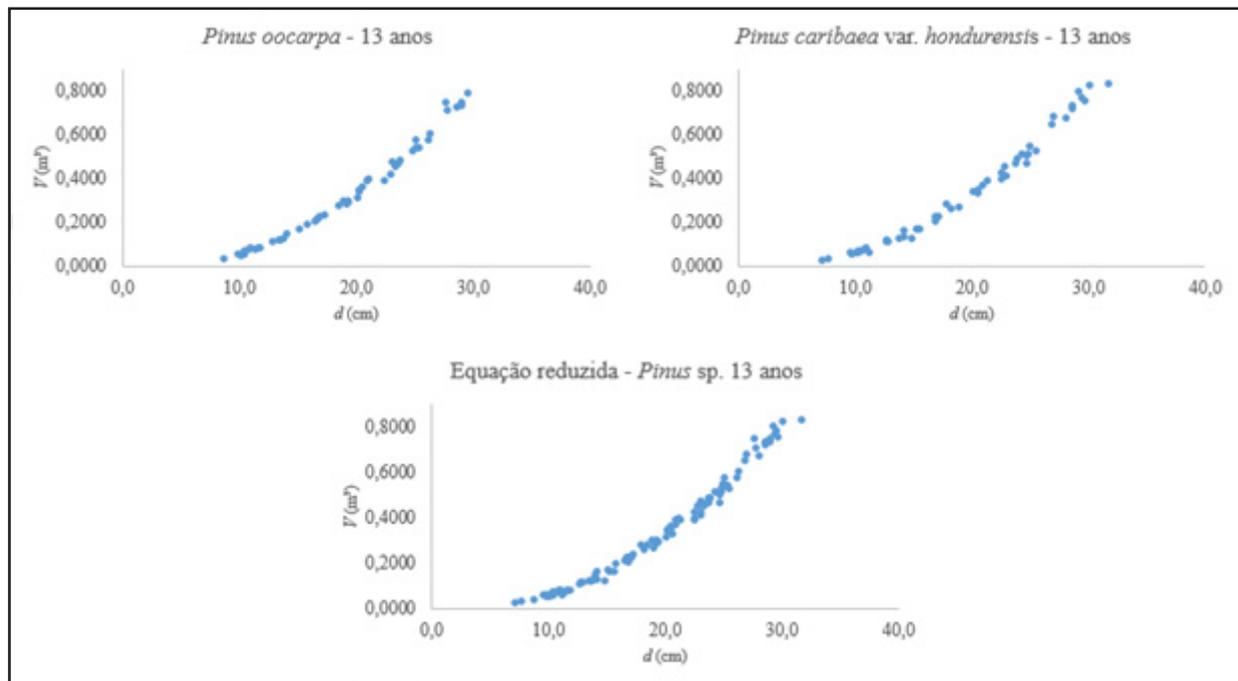
O teste de identidade de modelo para as estratégias 1 e 4 de agrupamento de dados demonstrou que existe diferença entre as equações reduzidas e as equações do modelo completo. Observando a distribuição dos volumes estimados sobre os respectivos diâmetros nas estratégias 2 e 3, onde as equações reduzidas podem ser utilizadas, as curvas geradas por elas são semelhantes às curvas das equações volumétricas ajustadas em nível de povoamento (Figura 3 e 4).

Figura 3 – Distribuição dos volumes estimados sobre os diâmetros para a 2ª estratégia – Equações por povoamento e equação reduzida ajustadas para os povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 13 e 14 anos de idade



Fonte: Autores (2018)

Figura 4 – Distribuição dos volumes estimados sobre os diâmetros para a 3ª estratégia – Equações por povoamento e equação reduzida ajustadas para os povoamentos de *Pinus oocarpa* E *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 13 anos de idade

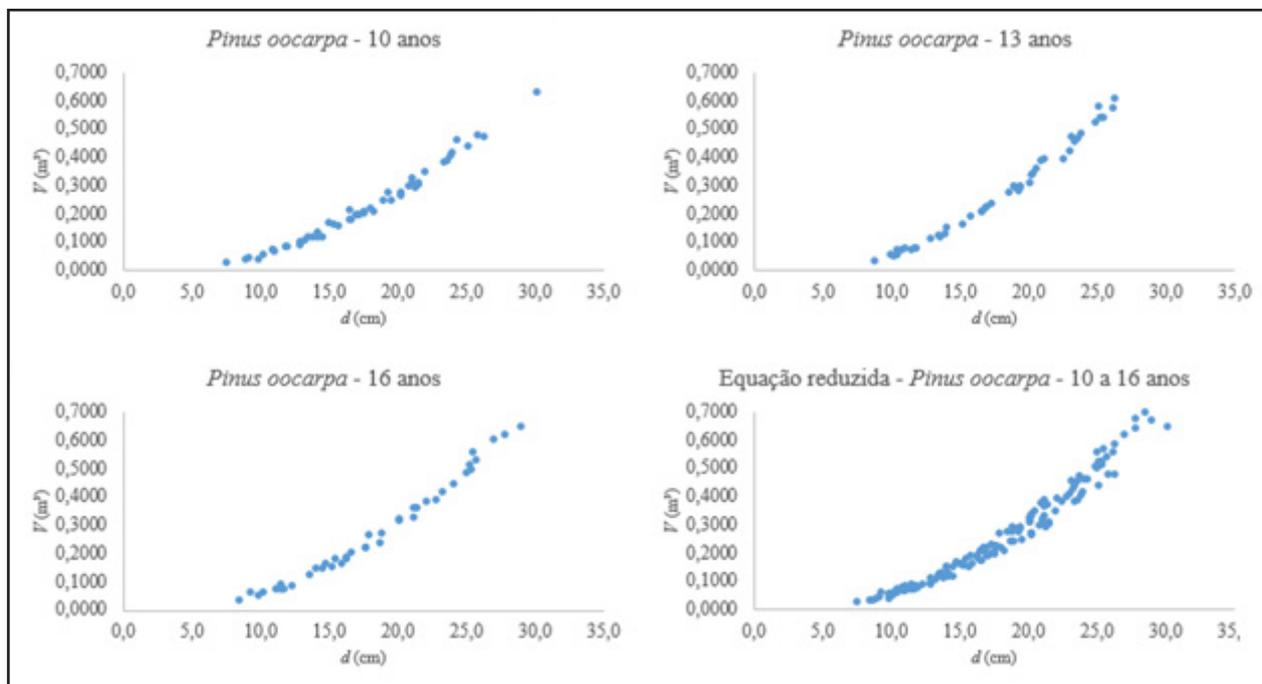


Fonte: Autores (2018)

Nas estratégias onde a equação volumétrica reduzida é considerada diferente das equações volumétricas ajustadas em nível de povoamento, observa-se uma curva de volume sobre os diâmetros mais espessa, resultado das estimativas de volumes diferentes (Figura 5 e 6).

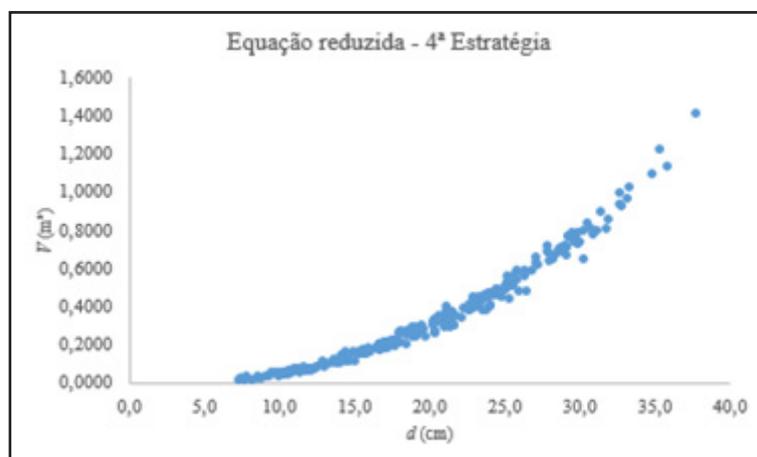
Kageyama e Caser (1982), em estudos com adaptação de espécies do gênero *Pinus* no Nordeste brasileiro, afirmam que, em geral, indivíduos da espécie *Pinus oocarpa* apresentam menor crescimento que indivíduos de *Pinus caribaea*, embora ambos apresentem boa adaptabilidade em regiões secas e com elevadas altitudes. Além disso, Guimarães e Luduvica (1983), estudando o crescimento das duas espécies na região do Cerrado, observaram que em áreas de altitude superior a 1000 m e temperatura média anual inferior a 20°C, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou melhor desempenho em crescimento do que o *Pinus oocarpa*.

Figura 5 – Distribuição dos volumes estimados sobre os diâmetros para a 2ª estratégia – Equações por povoamento e equação reduzida ajustadas para os povoamentos de *Pinus oocarpa* com 10, 13 e 16 anos de idade



Fonte: Autores (2018)

Figura 6 – Distribuição dos volumes estimados sobre os diâmetros para a 4ª estratégia – Equação reduzida ajustada para todos os povoamentos, *Pinus oocarpa* com 10, 13 e 16 anos e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com 13 e 14 anos



Fonte: Autores (2018)

Dessa maneira, possivelmente a diferença de crescimento entre as espécies fez com que a variação dos valores de diâmetro à altura do peito e a altura total dos indivíduos propiciassem ajustes de equações diferenciadas estatisticamente, o que inviabilizou a estimativa do volume dos povoamentos de ambas as espécies a partir de apenas uma equação. Outro aspecto que pode explicar a ausência de identidade entre os modelos ajustados para as espécies é a diferença de idade entre os povoamentos, principalmente da espécie *Pinus oocarpa*, visto que nos povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é viável a equação volumétrica reduzida para estimar o volume em duas idades diferentes, 13 e 14 anos.

4 CONCLUSÃO

O teste de identidade de modelos indica que a prática de agrupar dados no ajuste de modelos hipsométricos é inviável para plantios de *Pinus oocarpa* com idades entre 10 e 16 anos e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* com idades entre 13 e 14 anos na região oeste do estado de São Paulo, visto que as equações reduzidas ajustadas diferem estatisticamente das equações ajustadas em nível de parcela.

Em relação à variável volume, o teste de identidade de modelos demonstrou ser viável o ajuste de uma equação volumétrica reduzida para as espécies *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região de estudo aos 13 anos de idade ou com diferença de idade de apenas um ano. Entre espécies com intervalos de idade maiores o uso da equação reduzida não é indicado.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, V. C. L. **Um método para descrever o perfil do tronco em árvores de eucalipto utilizando geometria analítica**. 2001. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001.
- ARAGÃO, M. de A.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; LEITE, M. V. S.; CARVALHO, F. F. de; VIRGENS, A. P. das. Teste de identidade de modelos volumétricos para *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* em povoamento misto no sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 621-632, maio 2016.

BARROS, D. A. de; MACHADO, S. A.; JÚNIOR, F. W. A.; SCOLFORO, J. R. S. Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 45, p. 03-28, jul./dez. 2002.

CAMOLESI, J. F.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; JÚNIOR, F. W. A.; RUFINI, A. L.; MELLO, J. M. de. Ajuste, seleção e teste de identidade de modelo para volume e número de moirões da candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 431-441, out./dez. 2010.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br>. Acesso em: 05 abril 2018.

CURTIS, R. Height-diameter and height-diameter-age equations for secondgrowth Douglas-fir. **Forest Science**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 365-375, 1967.

GUIMARÃES, D. P.; LUDUVICA, M. L. Estudo comparativo entre o crescimento de *Pinus oocarpa* Schiede e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. em cinco localidades da região dos cerrados. **Boletim de Pesquisa Embrapa CPAC**, Planaltina, n. 18, 26 p., 1983.

KAGEYAMA, P. Y.; CASER, R. L. **Adaptação de espécies de pinus na região nordeste do Brasil**. Série Técnica IPEF, v.3, n.10, p.33 - 56,1982.

KOHLER, S. V.; FILHO, A. F.; KOEHLER, H. S.; ARCE, RETSLAFF, F. A. de S.; SERPE, E. L. Estratégias de agrupamento de dados para a modelagem hipsométrica e seus reflexos na estimativa de volume em plantios de *Pinus* spp. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n.3, p. 307-316, jul./set. 2017.

KURCHAIT, S. M.; ZANETTE, V. H.; ZANETTE, J. V.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em fragmento de floresta ombrófila mista. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 2302-2311, nov./dez. 2014.

MARTINS, R. M.; LEITE, M. V. S.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. L. de. 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, mai./jun. 2015.

MENDONÇA, A. R.; PACHECO, G. R.; VIEIRA, G. C.; ARAÚJO, M. da S.; INTERAMNENSE, M. T. Identidade de modelos para estimativa do volume de pinus. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 4, p. 281-286, out./dez. 2015.

NICOLETTI, M. F.; SOUZA, K.; SILVESTRE, R.; FRANÇA, M. C.; ROLIM, F. A. Relação hipsométrica para *Pinus taeda* L. em diferentes fases do ciclo de corte. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 80-89, 2016.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 40, p. 176-175, 1993.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 3, p. 315-320, mai./jun. 2010.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. Dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 22, n. 3, p. 33-45, dez. 2004.

RIBEIRO, A.; FILHO, A. C. F.; MELLO, J. M. de; FERREIRA, M. Z.; LISBOA, P. M. M.; SCOLFORO, J. R. S. Estratégias e metodologias de ajuste de modelos hipsométricos em plantios de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 22-31, jan./mar. 2010.

RODRIGUES, C. K.; LOPES, E. da S.; FILHO, A. F.; PELISSARI, A. L. et al. 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.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. de. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2006, 561 p.

THOMAS, C. et al. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.

VENDRUSCULO, D. G. S. et al. Identidade em modelos hipsométricos para *Tectona grandis* com diferentes espaçamentos em Cáceres – MT. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 44-49, jan./mar. 2015.

Contribuição de Autoria

1 – Plínio Carielo

Engenheiro Florestal, Me., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-5671-7639> • pliniocarieloengflorestal@gmail.com

Contribuição: Curadoria de dados, Análise Formal, Obtenção de financiamento, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Software, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

2 – Julio Eduardo Arce

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-4777-2310> • jarce@ufpr.br

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

3 – Afonso Figueiredo Filho

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-9965-7851> • afigfilho@gmail.com

Contribuição: Conceituação, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, Escrita – primeira redação, Escrita – revisão e edição

4 – Allan Libanio Pelissari

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-0915-0238> • allanpelissari@gmail.com

Contribuição: Escrita – revisão e edição

5 – Sintia Valerio Kohler

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0002-8532-771X> • sintiakohler@yahoo.com.br

Contribuição: Escrita – revisão e edição

6 – Fabiane Aparecida de Souza Retslaff

Engenheira Florestal, Dra., Professora

<https://orcid.org/0000-0003-4025-9562> • faretslaff@gmail.com

Contribuição: Metodologia, Escrita – primeira redação

7 – Alexandre Behling

Engenheiro Florestal, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7032-2721> • alexandre.behling@yahoo.com.br

Contribuição: Metodologia, Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

Carielo, P.; Arce, J. E.; Figueiredo Filho, A.; Pelissari, A. L.; Kohler, S. V.; Retslaff, F. A. S.; Behling, A. Agrupamento de dados para ajustes de modelos hipsométricos e volumétricos em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 3, p. 1165-1186, 2022. DOI 10.5902/1980509835017. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509835017>.