

## **AJUSTE VOLUMÉTRICO PARA *Couratari guianensis* Aubl. NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS.**

Bruno R. S. de Almeida<sup>1\*</sup>, Girlene da S. Cruz<sup>1</sup>, Evely A. B. de Sousa<sup>1</sup>, Bruno de A. Lima<sup>1</sup>, Renato B. da S. Ribeiro<sup>2</sup>

1. Acadêmico (a) de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Oeste do Pará.
2. Mestre em Ciência Floresta, Professor na Universidade Federal do Oeste do Pará/orientador.

### **Resumo**

O objetivo do estudo foi realizar o ajuste de modelos volumétricos para a espécie *Couratari guianensis* Aubl. (Tauari) na Floresta Nacional do Tapajós. Com base nos dados de romaneio, foram selecionados 514 árvores-amostra de Tauari com DAP  $\geq 50$  cm, cubadas pelo método de Smalian. Foram ajustados 6 modelos matemáticos para a espécie, sendo: Schumacher-Hall logarítmizado, Spurr logarítmizado, Meyer, Husch, Dissescu-Meyer e Hohenadl - Krenm. Para a escolha do melhor modelo utilizaram-se os critérios estatísticos: o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $Sy.x$ ), análise gráfica dos resíduos. Contudo, foi analisado também a significância dos parâmetros pelo teste "t" a 5% de probabilidade, normalidade dos resíduos por meio do teste de Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade e fator de inflação da variância (para modelos que apresentam mais de uma variável independente) para verificar situações de multicolinearidade. Os modelos Schumacher Hall e Spurr ambos na forma logarítmica apresentaram os melhores resultados de  $R^2$  ajustado (71,97%) e de  $Sy.x$  (24,43%) e Spurr logarítmizado 71,22% e 24,51%, respectivamente. Os modelos de Meyer e Hohenadl & Krenn apresentaram valores de coeficientes não significativos. No teste de multicolinearidade três modelos apresentaram valores altos de correlação nas variáveis independentes, apresentando VIF  $> 10$  para Meyer ( $D=2499,8$ ;  $D^2=1510,5$ ;  $D.H=1634,6$ ;  $D^2.H=4167,8$ ;  $H=933,2$ ). O modelo de Hohenadl-Krenm apresentou valores ( $D=81,3$ ;  $D^2=81,3$ ). O modelo de Dissescu-Meyer ( $D=42,96$ ;  $D^2=42,96$ ). Os modelos Schumacher Hall logarítmizado e Spurr logarítmizado foram os mais indicados para estimar o volume de *Couratari guianensis* na Floresta Nacional do Tapajós.

**Palavras-chave:** Mensuração, Tauari, Amazônia.

**Apoio financeiro:** Universidade Federal do Oeste do Pará - UFOPA.

### **Introdução**

A constante busca de alternativas que possibilitem otimizar a produção de florestas, passa pelo aprimoramento de técnicas de biometria, inventário e manejo florestal. O volume constitui uma das informações de maior importância para o conhecimento do potencial disponível em um povoamento florestal, haja vista, que o volume individual fornece subsídios para a avaliação do estoque de madeira e análise do potencial produtivo das florestas (THOMAS et al., 2006).

A análise de regressão é um dos instrumentos comumente utilizados para quantificar estimativas medidas de interesse como o volume em povoamentos florestais (BAIMA et al., 2001). A análise de regressão tem o intuito de estabelecer uma base sólida para a elaboração de planos de manejo, por meio de equações volumétricas devidamente ajustadas às características do povoamento analisado (THAINES et al., 2010). Muitas equações matemáticas foram desenvolvidas para estimar o volume de povoamentos florestais, e apesar da eficiência de alguns modelos, estes nem sempre se ajustam a todas as espécies (THOMAS et al., 2006).

Considerando a diversidade de espécies que compõem os biomas brasileiros, bem como a diversidade de tamanhos das árvores, equações de volume deveriam ser ajustadas para espécies individualmente ou para grupos de espécies com características semelhantes para aumentar a exatidão das estimativas volumétricas (SOARES et al., 2011). Segundo Machado et al., 2002 recomenda-se o teste de vários modelos para, a partir de análises estatísticas, identificar o melhor dependendo de cada caso.

Com base no contexto este estudo teve o objetivo de ajustar e selecionar modelos volumétricos para a espécie *Couratari guianensis* Aubl. na Floresta Nacional do Tapajós.

### **Material e Métodos**

#### **Área de estudo**

O estudo foi realizado na Área de Manejo Florestal da Cooperativa Mista da Flona do Tapajós (COOMFLONA), localizado no km 83

da BR-163, Floresta Nacional do Tapajós, município de Belterra, Estado do Pará. Os dados foram obtidos do inventário 100% e do romaneio de toras da Unidade de Produção Anual 09 (UPA 09) que corresponderam 16 unidades de trabalho de 100 hectares (1.600 hectares).

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Ami, com temperatura e precipitação média anual em torno de 24,8°C e 2100 mm respectivamente e umidade relativa do ar é, em média, de 90%, sendo que nos meses de dezembro a maio há maior incidência de chuvas tendo uma brusca redução nos meses de julho a agosto,

caracterizando-se um período seco, onde a precipitação é inferior a 60 mm. A região possui relevo pouco acidentado e o solo predominante é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (IBAMA, 2004) e vegetação classificada como Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012).

### Coleta e análise de dados

Foram selecionados 514 árvores-amostra de *Couratari guianensis* Aubl. (Tauari) com DAP  $\geq$  50 cm, cubadas pelo método de Smalian. Com os dados observados de volume, diâmetro e altura, foram ajustados 6 modelos matemáticos para a espécie (tabela 1).

Tabela 1: Modelos matemáticos testados para *Couratari guianensis* Aubl. na área de manejo florestal da COOMFLONA, Floresta Nacional do Tapajós.

Nº	Autor	Modelo
1	Schumacher-Hall logarítmizado	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \beta_2 \ln(H) + \varepsilon$
2	Spurr logarítmizado	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D^2H) + \varepsilon$
3	Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \beta_3 D.H + \beta_4 D^2.H + \beta_5 H + \varepsilon$
4	Husch	$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(D) + \varepsilon$
5	Dissescu-Meyer	$V = \beta_1 D + \beta_2 D^2 + \varepsilon$
6	Hohenadl - Krenm	$V = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$

Em que: V= volume em m<sup>3</sup>; D= diâmetro a altura do peito, em cm; H= altura comercial, em m;  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_5$ = coeficientes da regressão.

Como critérios para a escolha do melhor modelo matemático, foram avaliados: o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ), erro padrão da estimativa ( $Sy.x$ ), análise gráfica dos resíduos. Contudo, foi analisado também a significância dos parâmetros pelo teste "t" a 95% de probabilidade, normalidade dos resíduos por meio do teste de Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade e fator de inflação da variância, para modelos que apresentam mais de uma variável independente, para verificar situações de multicolinearidade. Para o exame de outliers foi utilizado metodologia de padronização de resíduos pela relação entre o erro absoluto e o erro padrão da estimativa, tendo como parâmetro o grau de liberdade na tabela t a 95% de probabilidade, conforme Scolforo (2005).

Para comparação de equações logarítmicas com as não logarítmicas, o erro padrão e o coeficiente de determinação foram recalculados. Os modelos volumétricos foram ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MMQO).

O processamento, análise e os testes aplicados foram realizados por meio dos softwares Excel 2016 e Action 2.8.

### Resultados e Discussão

Após o ajuste dos modelos, os que

melhores se ajustaram aos dados observados foram: Schumacher-hall logarítmizado, Spurr logarítmizado, Husch e Dissescu-Meyer, segundo a significância dos coeficientes. Os modelos de Meyer e Hohenadl & Krenn apresentaram valores de coeficientes não significativos (Tabela 2).

Em relação ao coeficiente de determinação ajustado e erro padrão da estimativa, os modelos Schumacher hall e Spurr, ambos na forma logarítmica, apresentaram os melhores resultados de  $R^2$  ajustado e de  $Sy.x$  (71,97%), (24,43%) e (71,22%), (24,51%), respectivamente. Os valores para os modelos se assemelham aos obtidos por Silva Ribeiro et al. (2014) que testaram modelos volumétricos para três espécies na FLONA do Tapajós, onde os modelos logaritimizados de Schumacher-hall e Spurr também se destacaram como os mais adequados para estimar o volume, na ocasião para *Manilkara huberi* (Ducke) Chevalier (maçaranduba), *Lecythis lurida* (Miers) S.A.Mori (jarana) e *Hymenaea courbaril* L. (jatobá) e Silva et al. (1984) ao realizarem ajustes de equação para espécies de interesse comercial na FLONA Tapajós também identificaram que o modelo de Schumacher-hall melhor se ajustou às espécies analisadas.

Tabela 2: Coeficientes e estatísticas de precisão para estimativas volumétricas de *Couratari guianensis* Aubl. na área de manejo florestal da COOMFLONA, Floresta Nacional do Tapajós.

Modelo Número	Coeficientes						R <sup>2</sup> aj. %	Sy.x %
	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$	$\beta_5$		
1	-7,95446*	1,52619*	1,00562*	-	-	-	71,97	24,43
2	-8,15268*	0,84247*	-	-	-	-	71,22	24,51
3	10,80445 <sup>ns</sup>	-0,25645 <sup>ns</sup>	0,00150 <sup>ns</sup>	0,01261 <sup>ns</sup>	-0,00004 <sup>ns</sup>	-0,46001 <sup>ns</sup>	65,65	24,33
4	-6,07230*	1,81008*	-	-	-	-	48,39	30,68
5	-	0,02218*	0,00078*	-	-	-	46,30	30,42
6	-4,48201 <sup>ns</sup>	0,12126 <sup>ns</sup>	0,00024 <sup>ns</sup>	-	-	-	46,51	30,36

ns = Coeficiente não significativo, de acordo com o teste t a 5% de probabilidade; \* = Coeficiente significativo, de acordo com o teste t a 5% de probabilidade.

Em relação ao teste de multicolinearidade dos dados indicou para três modelos valores muito altos, o que indica segundo Ferreira (2009) os coeficientes podem variar com amudança do conjunto de dados, ou seja, a regressão tende a ser imprecisa uma tendência a imprecisão de correlação nas variáveis independentes, apresentando VIF > 10 para Meyer (D=2499,8; D<sup>2</sup>=1510,5; D.H= 1634,6; D<sup>2</sup>.H= 4167,8; H= 933,2). O modelo de Hohenadl - Krenm apresentou valores (D=81,3; D<sup>2</sup>= 81,3). O modelo de Dissescu-Meyer (D= 42,96; D<sup>2</sup>=42,96). Já o modelo de Schumacher-hall logarítmizado apresentou VIF=1,047 para todas as variáveis.

Após a retirada de outliers os modelos Schumacher-hall e Spurr variável combinada apresentaram normalidade de acordo com o teste Kolmogorov Smirnov com p valor de 0,53 e 0,40 respectivamente.

Analisando a distribuição dos resíduos percentuais após a retirada de outliers, Schumacher-hall e Spurr logarítmizado apresentaram resultados semelhantes em relação a distribuição uniforme dos resíduos, desta forma ambos podem ser escolhidos como os modelos mais precisos na estimativa de volume dos dados observados.

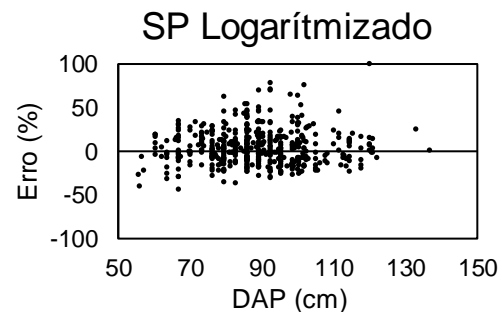
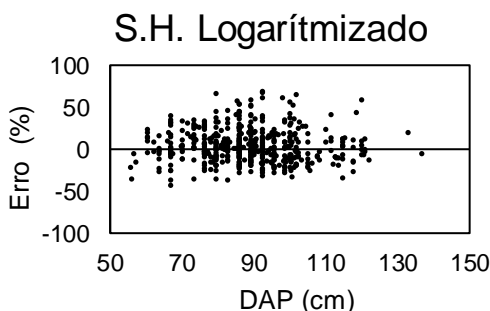


Figura 1: Análise gráfica dos resíduos para a espécie Tauarí com os dois melhores modelos ajustados na Floresta Nacional do Tapajós.

### Conclusões:

Os modelos Schumacher-Hall logarítmizado e Spurr logarítmizado atenderam todos os parâmetros de escolha do melhor modelo. E conseqüentemente sendo as equações com maior precisão no que se refere a estimativa do volume de *Couratari guianensis* Aubl.

### Referências bibliográficas

BAIMA, A.M.V.; SILVA, S.M.A.; SILVA, J.N.M. Equações de volume para floresta tropical de terra firme em Moju, PA. **A silvicultura na Amazônia Oriental: Contribuições do projeto Embrapa-DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, p. 367-392, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Floresta Nacional do Tapajós – Plano de Manejo. Volume 1, Brasília, 2004. v.1. 580p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro: p.271, 2012.

FERREIRA, M.Z. **Modelagem da influência de variáveis ambientais no crescimento e na produção de *Eucalyptus* sp.** 2009. 112p. Tese (Doutorado em Ciências florestais). Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

MACHADO, S.A.; CONCEIÇÃO, M.B.; FIGUEIREDO, D.J. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 186-197, jul. /dez, 2002.

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 da matéria seca. Lavras: **UFLA/FAEPE**, p. 352, 2005.

SILVA, J.N.M.; CARVALHO, J.O.P.; LOPES, J.C.A. Equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. In: **Boletim de Pesquisa Florestal Numero 8/9**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária do Tropicó Umidos Belém, Pará, p.50-63, jun./dez.,1984.

SILVA-RIBEIRO, R.B.; GAMA, J.R.V.; MELO, L.O. Seccionamento para cubagem e escolha de equações de volume para a Floresta Nacional do Tapajós. **Revista CERNE**. v. 20, n. 4, p. 605-612, 2014.

SOARES, C.P.B.; MARTINS, F.B.; JUNIOR, H. U.L.; SILVA, G.F.; FIGUEREDO, L.T.M. Equações hipsométricas, volumétricas e de taper para onze espécies nativas. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1039-1051, 2011.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P.P.; THAINES, A.A.R. Equações para estimativa de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289, nov./dez., 2010.

THOMAS, C.; ANDRADE, C.M.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Comparação de equações volumétricas ajustadas com dados de cubagem e análise de tronco. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 319-327, 2006.