

AJUSTE VOLUMÉTRICO PARA *Hymenaea coubaril* L. NA FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS.

Girlene da S. Cruz^{1*}, Evely A. B. de Sousa¹, Bruno R. S. de Almeida¹, Bruno de A. Lima¹, Brenda L. Rodrigues², Renato B. da S. Ribeiro³

1. Acadêmico (a) de Engenharia Florestal na Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).
2. Mestranda em Ciência Florestal na Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).
3. Mestre em Ciência Florestal, Professor na Universidade Federal do Oeste do Pará/Orientador.

Resumo:

O objetivo do estudo foi ajustar oito modelos volumétricos com base em dados de romaneio para a espécie *Hymenaea coubaril* L. na Floresta Nacional do Tapajós. Os dados utilizados foram provenientes do romaneio e do inventário 100% da unidade de produção anual 9, onde foram selecionadas 536 árvores-amostras com $DAP \geq 70$ cm, que passaram por cubagem pelo método de Smalian. Os modelos matemáticos utilizados foram: Schumacher-Hall logaritmizado, Meyer, Stoate, Spurr (variável combinada), Spurr logaritmizado, Näslund, Meyer modificado e Dissescu-Meyer. Para a escolha do melhor modelo utilizaram-se os critérios estatísticos: coeficientes de determinação ajustado (R^2 ajustado), erro padrão da estimativa ($Sy.x$), significância dos coeficientes pelo teste t a 95% de probabilidade, análise gráfica de resíduos, normalidade dos resíduos por meio do teste Kolmogorov Smirnov a 5% de probabilidade e análise do VIF (*Variance Inflation Factor*), que mede a multicolinearidade nos modelos que apresentam mais de uma variável independente. O modelo de Schumacher Hall logaritmizado apresentou R^2 ajustado de 83,74%, os valores de erro padrão variaram entre 17,60% a 25,21%. Os modelos de Stoate e Dissescu Meyer apresentaram valores dos coeficientes não significativos. Já os modelos de Meyer, Stoate, Meyer modificado e Näslund apresentaram valor de VIF superior a 10. Schumacher Hall apresentou valores de 1,011 para ambas variáveis independentes, os modelos Schumacher-hall e Spurr variável combinada apresentaram normalidade de acordo com Kolmogorov Smirnov, com valor de p 0,05 e 0,14 respectivamente. Os modelos Schumacher Hall logaritmizado e Spurr variável combinada foram os mais indicados para estimar o volume de *Hymenaea coubaril* na Floresta Nacional do Tapajós.

Palavras-chave: Análise de regressão, manejo florestal, Jatobá.

Apoio financeiro: UFOPA.

Introdução:

As técnicas voltadas para a exploração do recurso madeireiro, tem sido continuamente melhorada, com o objetivo de garanti-lo para futuras gerações. Todavia, a falta de planejamento na exploração madeireira das florestas tropicais tem dificultado o manejo florestal sustentável, tanto na teoria quanto na prática (THAINES et al., 2010; RAMOS e FILHO, 2011).

A quantificação da volumetria para as áreas a serem manejadas até um tempo atrás eram feitas de forma empírica ou utilizando o fator de forma, e utilizada para toda área florestal. A equação de volume desenvolvida para a Flona do Tapajós foi bastante utilizada na maioria dos empreendimentos florestais. No entanto, para que ocorra precisão na estimativa volumétrica, é recomendável o ajuste de equações desenvolvidas especificamente para as áreas dos planos de manejo florestal, sendo este método eficiente e econômico, o que permite planejamento mais próximo do real em termos de área e de espécies a serem exploradas (RAMOS e FILHO, 2011).

O volume é a informação mais importante para conhecer o potencial produtivo de uma região, porém, como essa informação não é facilmente mensurável, devido às vezes a cubagem ser um método inviável, o ajuste de equações tornou-se fundamental para estimar o estoque de madeira para as áreas de manejo (MACHADO et al., 2002; MIRANDA et al., 2014; SILVA-RIBEIRO et al., 2014). As equações mais utilizadas são as que o volume constitui a variável dependente, e diâmetro a altura do peito (DAP com casca) e à altura total (H) ou altura comercial como variáveis independentes (MACHADO et al., 2002).

O ajuste de equações que estimam variáveis de populações florestais é empírico, por isso é necessário ajustá-las, para diferentes espécies, sítios, idades, entre outros (MIRANDA et al. 2014). Atualmente muitos

modelos foram desenvolvidos e aplicados em diversas regiões do Brasil, porém é recomendável sempre testar vários modelos matemáticos, e através de análise estatística escolher o melhor modelo a ser aplicado. É recomendável também produzir equações específicas para cada local, pois nem sempre modelos já consagrados se ajustam a todas as espécies e ambientes (THOMAS et al., 2006; BARRETO et al., 2014).

Poucos trabalhos referentes ao ajuste de modelos matemáticos, para estimativa do volume, têm sido desenvolvidos em nível de espécies de interesse comercial, no sentido de conhecer o volume das espécies tropicais (RAMOS e FILHO, 2011). Diante disto, o objetivo do presente estudo foi ajustar oito modelos volumétricos com base em dados de romaneio para a espécie *Hymenaea coubaril* L. na Floresta Nacional do Tapajós.

Material e Métodos:

Área de estudo

Os dados utilizados nessa pesquisa foram oriundos de inventário 100% e romaneio de toras na unidade de produção anual 9 (UPA

09), que foi composta por 16 unidades de trabalho de 100 ha, totalizando uma área de 1.600 ha. Esta área fica localizada na área de manejo florestal Samambaia pertencente a Cooperativa Mista da Flona do Tapajós.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Ami, com temperatura anual de 25,5°C e umidade relativa do ar de 90%. O período chuvoso na região ocorre de janeiro a maio, com precipitação média durante o ano de 1820mm. O local apresenta topografia suavemente ondulada a ondulada, e o solo predominante na região é do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (IBAMA, 2004).

Coleta e análise de dados

Foram selecionados 536 árvores-amostra de *Hymenaea coubaril* L. (Jatobá) com DAP \geq 70 cm, cubadas pelo método de Smalian e que tiveram o seccionamento de toras realizado de acordo com metodologia descrita por Silva-Ribeiro et al. (2014). Após calcular o volume real dos indivíduos foram ajustados 8 modelos matemáticos para a espécie, conforme tabela 1.

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

Nº	Autor	Modelo
1	Schumacher-Hall logarítmizado	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1.ln(D) + \beta_2.ln(H) + \epsilon$
2	Meyer	$V = \beta_0 + \beta_1.D + \beta_2.D^2 + \beta_3.D.H + \beta_4.D^2.H + \beta_5.H + \epsilon$
3	Stoate	$V = \beta_0 + \beta_1.D^2 + \beta_2.D^2.H + \beta_3.H + \epsilon$
4	Spurr (variável combinada)	$V = \beta_0 + \beta_1.D^2.H + \epsilon$
5	Spurr logarítmizado	$Ln(V) = \beta_0 + \beta_1.ln(D^2H) + \epsilon$
6	Näslund	$V = \beta_1.D^2 + \beta_2.D^2.H + \beta_3.D.H^2 + \beta_4.H^2 + \epsilon$
7	Meyer modificado	$V = \beta_0 + \beta_1.D + \beta_2.D^2 + \beta_3.D.H + \beta_4.D^2.H + \epsilon$
8	Dissescu-Meyer	$V = \beta_1.D + \beta_2.D^2 + \epsilon$

Em que: V= volume comercial em m³; D= diâmetro a altura do peito, em cm; H= altura comercial, em m; β_0 , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 , β_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 de dados e testes aplicados foram realizados por meio dos softwares Excel 2013 e Action 2.8.

Resultados e Discussão:

Após o ajuste dos modelos, os que melhores se ajustaram aos dados observados foram: Schumacher-hall logarítmizado, Meyer, Spurr variável combinada, Spurr logarítmizado, Näslund e Meyer modificado, segundo a significância dos coeficientes. Os modelos de

Stoate e Dissescu-Meyer apresentaram valores de coeficientes não significativos, conforme apresentado na tabela 2.

Em relação ao coeficiente de determinação ajustado, os modelos Schumacher hall e Spurr ambos na forma logarítmica apresentaram os melhores resultados. Schumacher-Hall logarítmizado apresentou o maior valor de R^2 ajustado (83,74%) e Spurr logarítmizado (83,39%). Os valores de $Sy.x$ não ultrapassaram 26%, sendo o menor erro encontrado na equação de Meyer (17,57%), seguida de Meyer modificado (17,62%) e Stoate (17,67).

Silva-Ribeiro et al. (2014) testando modelos para três espécies na FLONA do Tapajós, apontaram resultados semelhantes,

onde os modelos de Schumacher-hall e Spurr ambos na forma logarítmica foram os mais adequados para estimar o volume de Jatobá. Barreto et al. (2014) ao realizarem ajuste de equação para espécies de interesse comercial em um empreendimento florestal, no município de Anapu, identificaram que o modelo de Schumacher-hall apresentou maior valor R^2 ajustado e menor valor de $Sy.x$ e distribuição não tendenciosa de resíduos tornando-se um modelo muito preciso. Miranda et al. (2014) ao ajustar modelos volumétricos para 70 indivíduos de *Hymenaea coubaril* no município de Tabaporã, identificaram o modelo Spurr logarítmico como o que obteve melhor precisão para estimar o volume da espécie.

Tabela 2: Parâmetros dos ajustes e estatísticas de precisão para estimativas volumétricas de *Hymenaea coubaril* na área de manejo florestal da COOMFLONA, Floresta Nacional do Tapajós.

Modelo Número	Coeficientes						R^2 ajustado	$Sy.x$ %
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5		
1	-9,00891*	1,75017*	1,02624*	-	-	-	83,74	17,85
2	-37,71183*	0,79830*	-0,00400*	-0,02678*	0,00017*	1,29823*	82,31	17,57
3	3,58073*	-0,00025 ^{ns}	0,00005*	-0,09012*	-	-	82,10	17,67
4	0,99617*	0,00004*	-	-	-	-	82,06	17,69
5	-9,09306*	0,92128*	-	-	-	-	83,39	17,73
6	-	-0,00020*	0,00006*	-0,00011*	0,00692*	-	72,17	17,68
7	-4,07474*	0,16587*	-0,00111*	-0,00244*	0,00006*	-	82,20	17,62
8	-	0,00506 ^{ns}	0,00109*	-	-	-	63,56	25,21

^{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.

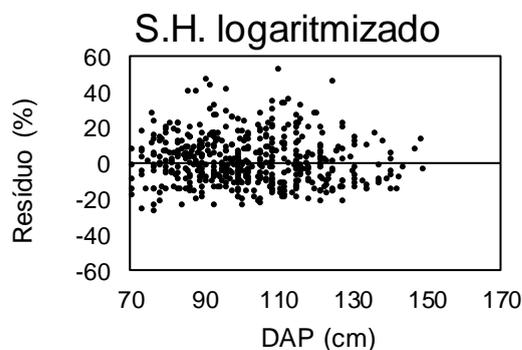
O teste de multicolinearidade dos dados indicou alto valor para a equação Meyer de correlação nas variáveis independentes, uma vez que os valores de VIF foram maiores que 10 ($D=3391,9$; $D^2=3374,1$; $D.H=8364,9$; $D^2.H=5045,9$; $H=918,9$). O modelo de Näslund apresentou valores de VIF superior a 10 ($D^2=158,3$; $D^2.H=756$; $D.H^2=918,4$; $H^2=234,16$). O modelo de Meyer modificado ($D=168,1$; $D^2=292$; $D.H=97,3$; $D^2.H=211,5$). O modelo de Schumacher-hall logarítmizado apresentou 1,011 para ambos coeficientes.

Segundo Ferreira (2009) quando ocorre a presença de alta correlação, os coeficientes da regressão tendem a ser imprecisos e as estimativas dos coeficientes podem oscilar consideravelmente de um conjunto de dados para outro.

Após a retirada de outliers, apenas os modelos Schumacher-hall e Spurr variável combinada apresentaram normalidade de acordo com o teste Kolmogorov Smirnov com p valor de 0,05 e 0,14 respectivamente.

Analisando a distribuição dos resíduos

percentuais após a retirada de outliers, Schumacher-Hall e Spurr logarítmizado apresentou resultados satisfatórios, sendo possível assegurar que ambos modelos não apresentaram nenhum tipo de tendenciosidade, ou seja, os resíduos das equações estão uniformemente distribuídos, podendo ambos serem escolhidos como modelos precisos.



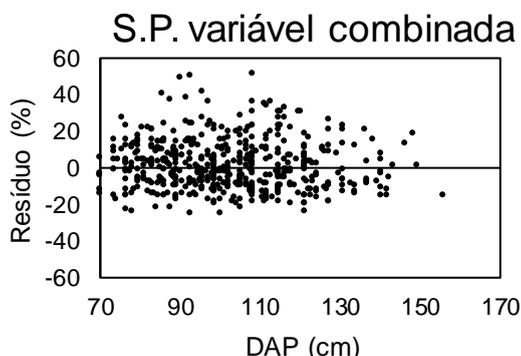


Figura 1: Análise gráfica dos resíduos para a espécie jatobá com os dois melhores modelos ajustados.

Conclusões:

Os modelos Schumacher-Hall logaritmizado e Spurr variável combinada atenderam todos os critérios de escolha do melhor modelo e desta forma, apresentaram as melhores equações para estimativa do volume de *Hymenaea coubaril* na Floresta Nacional do Tapajós.

Referências bibliográficas

BARRETO, W. F.; LEÃO, F. M.; MENEZES, M. C.; SOUZA, D. V. **Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará.** Revista Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 34, n. 80, p. 9, out. /dez., 2014.

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.

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.

MIRANDA, D. L. C.; PARO, B. A. V.; COSTA, G. R. **Estimativa do volume em árvores *Hymenaea coubaril* L. e *Trattinickia bursefolia* Mart. no norte de Mato Grosso.** Revista Nativa, Sinop, v. 2, n. 4, p. 219- 223, out. /dez. 2014.

RAMOS, M.; FILHO, A. F. **Equações volumétricas de simples e dupla entrada para estimar volume comercial em pé em floresta tropical úmida.** 5º Simpósio latino-americano sobre manejo florestal, Santa Maria, p. 835- 841, 2011.

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, 2005. 352 p.

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.

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.