



MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE TRÊS ESPÉCIES COMERCIAIS EM FLORESTA MANEJADA NA AMAZÔNIA CENTRAL

Isabel Cristina Gomes Bezerra¹, Filipe Campos de Freitas², Natalino Calegario³, Celso
Paulo de Azevedo³, Cintia Rodrigues de Souza³, Luiz Ricardo Nakamura³

1 Universidade Federal do Amazonas, Manaus, AM, Brasil. E-mail: isabelcristina@ufam.edu.br

2 Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas, Manaus, AM, Brasil.
E-mail: filipe.freitas19@gmail.com

3 Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil. E-mail: calegari@ufla.br; luiz.rm@gmail.com

4 Embrapa, Brasil. E-mail: celsoazevedo1958@gmail.com; cintia.souza@embrapa.br

Autora correspondente: Isabel Cristina Gomes Bezerra. E-mail: isabelcristina@ufam.edu.br.

RESUMO

O objetivo do artigo foi modelar o crescimento individual em diâmetro de espécies comerciais madeireiras com a inclusão de variáveis categóricas do povoamento. O estudo foi realizado em duas Unidades de Produção Anual (UPA) que receberam exploração florestal nos anos de 1996 e 1998. Foram realizados inventários florestais contínuos em 28 unidades amostrais. Foi calculada a taxa de crescimento relativo das espécies *Ocotea fragrantissima*, *Pouteria guianensis* e *Pouteria platyphylla* para três períodos diferentes após a exploração. A taxa de crescimento em diâmetro geral foi de $1,02\% \pm 0,11\%$ ao ano. A espécie *O. fragrantissima* apresentou maior taxa de crescimento. A incorporação de variáveis categóricas proporcionou melhoria no ajuste. Os modelos testados se adequaram aos dados de forma satisfatória. A características de copa foram as que melhor respondem para aprimorar as estimativas.

Palavras-chave: Exploração florestal; produção madeireira; serviços ambientais

MODELING THE GROWTH OF THREE COMMERCIAL SPECIES IN MANAGED FORESTS IN THE CENTRAL AMAZON, BRAZIL

ABSTRACT

*This paper aimed modelling the individual growth in diameter of commercial timber species with the inclusion of categorical variables. The study was carried out in two Annual Production Units (APU) logged in 1996 and 1998. Continuous forest inventories were carried out in 28 sample units. It was calculated the relative growth rate of the species *Ocotea fragrantissima*, *Pouteria guianensis* and *Pouteria platyphylla* for three different periods after logging. The overall diameter growth rate was $1.02\% \pm 0.11\%$ per year. *O. fragrantissima* presented the highest growth rate. The incorporation of categorical variables improved the fit. The models tested fits the data satisfactorily. The canopy characteristics were the ones that best responded to improve the estimates.*

Key words: Forest exploration; timber production; environmental services

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MENSURAÇÃO FLORESTAL



INTRODUÇÃO

Desde os anos 1970 a Amazônia brasileira é alvo da exploração florestal para fins de produção madeireira, muitas vezes de forma predatória (Cerullo & Edwards, 2019). Nos últimos 40 anos, a região perdeu cerca de 17% de cobertura florestal devido a conversão de uso da terra principalmente em pastos e agricultura (Gatti *et al.*, 2021). Neste cenário, o manejo florestal pode atuar como instrumento de conservação dos ecossistemas florestais que possuem potencial para uso comercial madeireiro.

Determinadas espécies de árvores da região amazônica são reconhecidas pelas características de sua madeira, gerando uma exploração seletiva para atender ao mercado consumidor. A dinâmica florestal, em especial o crescimento das árvores, é influenciada por características presentes em cada espécie, assim como características do ambiente, considerando-se fatores climáticos, edáficos, topográficos, competição (Prodan *et al.*, 1997), sucessão ecológica, luminosidade (Mognon *et al.*, 2012). Estas variáveis são tidas como categóricas, ou qualitativas, uma vez que não são mensuráveis numericamente, entretanto é possível registrá-las e estabelecer relações com as variáveis de crescimento (Lima, 2010). O registro destas variáveis e o conhecimento sobre a sua influência no crescimento de uma espécie se faz importante para uma melhor tomada de decisão no manejo de florestas tropicais.

Esta pesquisa tem como objetivo modelar a taxa de crescimento relativo em diâmetro de três espécies comerciais madeireiras a fim de: avaliar quais e como as variáveis categóricas influenciam no crescimento e avaliar se a inclusão de variáveis categóricas na modelagem traz ganhos significativos nas estimativas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida em uma floresta sob manejo florestal sustentável localizada no município de Itacoatiara/AM, no km 01 da rodovia AM – 363, com acesso pela rodovia AM-010, km 227. O estudo se deu a partir de dados de duas Unidades de Produção Anual as quais receberam exploração florestal nos anos de 1996 e 1998. Foram consideradas unidades amostrais (UA) instaladas para monitoramento da dinâmica florestal pós exploração com dimensões de 100m x 100m, totalizando 28 UAs, as quais foram inventariadas antes da exploração (T₁) e, posteriormente, nos anos de 2001 (T₂), 2014 (T₃) e 2019 (T₄).

Coleta e processamento de dados

Para as coletas de dados, seguiu-se a metodologia descrita por Silva *et al.* (2005), onde foram avaliados os parâmetros de identificação botânica, diâmetro a 1,30m do solo (D), classes de identificação do fuste, situação silvicultural, presença de danos ou defeitos na árvore, grau de iluminação e forma da copa, bem como a presença de cipós.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

A análise foi realizada para os indivíduos de *Ocotea fragrantissima*, *Pouteria guianensis* e *Pouteria platyphylla* que permaneceram vivos nos quatro inventários realizados. Foi calculada a taxa de crescimento relativo em D em três intervalos de tempo (T₁-T₂, T₂-T₃ e T₃-T₄). Essa taxa indica o quanto determinada árvore cresceu em relação ao seu diâmetro inicial por ano.

Modelagem da taxa de crescimento relativo em diâmetro a 1,30m do solo (D)

Aplicou-se o modelo proposto por Hossain *et al.* (2016), baseado na distribuição *logit skew Student t (logitSST)* inflada em 0. O modelo é desenvolvido dentro do escopo dos modelos aditivos generalizados para posição, escala e forma (Rigby & Stasinopoulos, 2005). Foram propostos quatro modelos com a inclusão de diferentes variáveis descritoras para avaliar seus efeitos sobre a variável resposta: 1) Apenas o D da primeira medição do intervalo considerado; 2) D e tempo após a primeira medição; 3) D, tempo e variáveis categóricas registradas.

Foi considerado um nível de significância de 5% para o ajuste. Os critérios adotados para avaliar a qualidade dos ajustes foram: critério de Informação de Akaike (AIC) e análise dos resíduos por meio do uso de *wormplots*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Composição das espécies

A base de dados foi composta por 434 indivíduos (Tabela 1). O D médio para todas as espécies, considerando as quatro medições foi de 30,2 ± 1,5cm. As maiores TCR_D foram verificadas para o período T₁-T₂ e a menor para o período entre T₃-T₄. Entre as espécies a maiores taxas foram observadas para a *O. fragrantissima*, seguida da *P. guianensis*, e, por fim, *P. platyphylla*.

Tabela 1. Número de indivíduos (NI), diâmetro 1,30m do solo médio (\bar{D}) e taxa de crescimento relativo em D (TCR_D) por espécie

Nome científico	NI	\bar{D} (CV%)	TCR _D (%)			
			T ₁ -T ₂ (CV%)	T ₂ -T ₃ (CV%)	T ₃ -T ₄ (CV%)	Total (±erro)
<i>Ocotea fragrantissima</i> Ducke	110	28,6 (41,4)	1,69 (88,33)	1,34 (71,13)	0,92 (72,07)	1,32 (±0,21)
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	164	29,5 (47,4)	1,18 (88,76)	0,88 (101,8)	0,70 (165,39)	0,92 (±0,08)
<i>Pouteria platyphylla</i> (A.C.Sm.) Baehni	160	32,6 (46,7)	1,05 (110,23)	0,73 (94,42)	0,70 (130,74)	0,82 (±0,06)

Em que: T1 = inventário antes da exploração; T2 = inventário após a exploração em 2001; T3 = inventário após a exploração em 2014; T4 = inventário após a exploração em 2019

A TCR_D apresentou relação inversamente proporcional em relação ao D médio, em que as espécies com menores médias apresentaram maiores taxas. Essa relação corrobora com o proposto por Vanclay (1994), demonstrando que, conforme aumenta o tamanho da árvore, menor será seu crescimento.

Modelagem da taxa de crescimento para as espécies comerciais.

As características de copa apresentaram influência significativa para as três espécies, seja forma ou iluminação da copa (Tabela 2). A inclusão de mais variáveis explicativas contribuiu

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

para melhorar o ajuste, uma vez que os menores valores de AIC são observados para os modelos em que estão incluídas as variáveis de tempo e categóricas.

Para *O. fragrantissima* e *P. platyphylla* é observado parâmetro significativo para forma da copa nos níveis 3-5, sendo a única variável categórica com efeito significativo na taxa de crescimento. A categorização proposta por Silva *et al.* (2005) considera uma escala gradativa de 1 a 5, em que: 1) copa completa e bem distribuída; 2) copa completa irregular; 3) copa incompleta; 4) rebrotação; 5) árvore sem copa. No presente estudo, agrupou-se os níveis 3 a 5 para facilitar a modelagem devido a ocorrência poucos indivíduos nessas classes. Uma vez que os maiores valores estão associados a características menos favoráveis para a planta, o parâmetro com valor negativo indica que as árvores com avaliação de copa entre 3 e 5 tiveram taxas de crescimento menores em relação às demais.

Tabela 2. Análise paramétrica do ajuste do modelo *logitSTT* para *Ocotea fragrantissima*, *Pouteria guianensis* e *Pouteria platyphylla*

Espécie	Modelo	AIC	Variável	Coefficiente	Erro padrão	Valor t	P(> t)	
<i>Ocotea fragrantissima</i>	1	-2011,4	Intercepto	-3,9394	0,1076	-36,62	< 0,00***	
			D ₁	-0,0235	0,0035	-6,65	< 0,00***	
	2	-2028,3	Intercepto	-3,6975	0,1188	-31,14	< 0,00***	
			D ₁	-0,0207	0,0034	-6,02	< 0,00***	
			Tempo	-0,0233	0,0053	-4,39	< 0,00***	
	3	-2030,9	Intercepto	-3,6267	0,1240	-29,24	< 0,00***	
			D ₁	-0,0223	0,0035	-6,40	< 0,00***	
			Tempo	-0,0208	0,0057	-3,68	< 0,00***	
			F.C. 2	-0,1393	0,0846	-1,65	0,10 ^{NS}	
				F.C. 3-5	-0,6957	0,2665	-2,61	0,01***
	<i>Pouteria guianensis</i>	1	-2988,3	Intercepto	-4,2767	0,0905	-47,28	< 0,00***
				D ₁	-0,0241	0,0028	-8,56	< 0,00***
2		-3013,6	Intercepto	-4,0122	0,0998	-40,22	< 0,00***	
			D ₁	-0,0217	0,0028	-7,70	< 0,00***	
			Tempo	-0,0250	0,0047	-5,30	< 0,00***	
3		-3028,7	Intercepto	-3,6505	0,1945	-18,77	< 0,00***	
			D ₁	-0,0249	0,0031	-8,04	< 0,00***	
			Tempo	-0,0235	0,0050	-4,68	< 0,00***	
			I.C. 2	-0,1985	0,1326	-1,50	0,14 ^{NS}	
			I.C. 3-4	-0,3121	0,1459	-2,14	0,03*	
			Dano 2-7	-0,6945	0,1998	-3,48	< 0,00***	
<i>Pouteria platyphylla</i>		1	-3117,7	Intercepto	-4,3399	0,0993	-43,71	< 0,00***
	D ₁			-0,0253	0,0029	-8,84	< 0,00***	
	Intercepto			-4,1956	0,1174	-35,73	< 0,00***	
	D ₁			-0,0246	0,0028	-8,64	< 0,00***	
2	-3121,0	Tempo	-0,0121	0,0053	-2,31	< 0,02*		
		Intercepto	-4,1673	0,1308	-31,85	< 0,00***		
3	-3126,4	D ₁	-0,0252	0,0029	-8,64	< 0,00***		
		Tempo	-0,0111	0,0053	-2,09	0,04*		
		F.C. 2	-0,0162	0,0906	-0,18	0,86 ^{NS}		
		F.C. 3-5	-1,2015	0,3345	-3,59	< 0,00***		

Em que: D₁ = diâmetro a 1,30m do solo na primeira medição; FC: forma da copa; I.C.: iluminação da copa; Cipó: presença de cipós; *** valor significativo ($\alpha < 0,001$); * valor significativo ($\alpha < 0,05$); ^{NS} valor não significativo

Para a *P. guianensis* além da iluminação de copa, houve influência do dano e presença de cipós. Essas categorizações seguem a lógica descrita para a forma da copa, uma escala em que o nível 1 indica a melhor categoria e os níveis subsequentes contemplam características menos favoráveis. Árvores com iluminação de copa 3 ou 4 estão no estrato inferior da floresta ou até

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

mesmo sem copa, com isso, esse fator influencia negativamente na TCR_D dessa espécie. A escala de classificação de dano varia entre 1 e 7, em que no nível 1 estão as árvores sem nenhum dano aparente e as categorias 2 a 7 com algum nível gradativo de dano. Verifica-se que a taxa de crescimento da *P. guianensis* é influenciada negativamente quando algum nível de dano é observado na árvore. As categorias de presença de cipós 2 e 4 foram agrupadas pois tem em comum em sua descrição não restringir o crescimento; já as categorias 3 e 5 são descritas como restritoras de crescimento. Com isto, observa-se que quando uma árvore dessa espécie apresenta cipós nessas categorias, de fato há uma menor taxa de crescimento em relação às demais.

A função *logitSTT* apresentou bom ajuste dos dados, com distribuição normal dos resíduos, para as três espécies e os três modelos propostos, uma vez que 95% das observações estão dentro das faixas de referência nos *wormplots* apresentados (Figura 1).

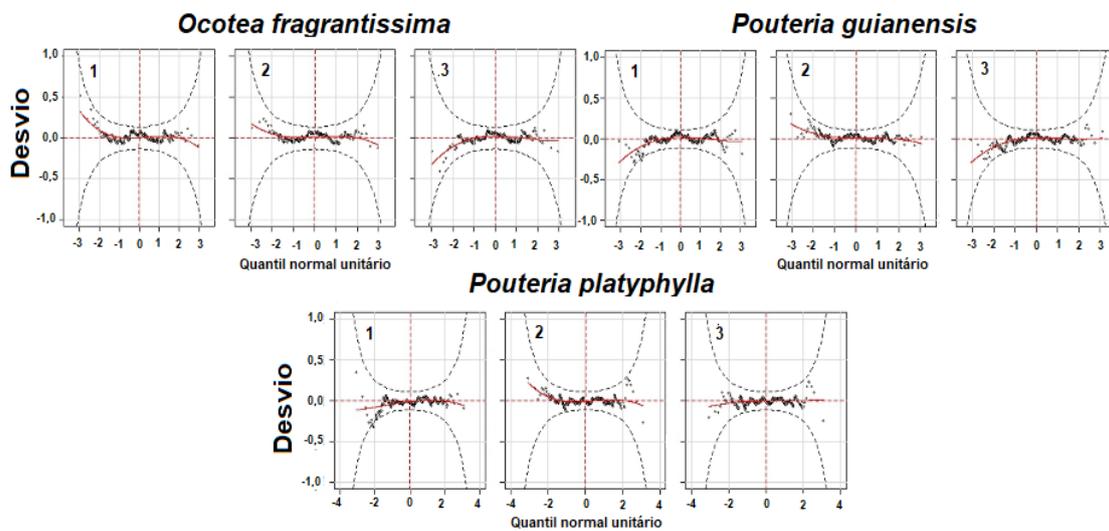


Figura 1. Wormplots para o ajuste do modelo *logitSTT* para as espécies *Ocotea fragrantissima*, *Pouteria guianensis* e *Pouteria platyphylla*

CONCLUSÃO

O uso das variáveis categóricas proporcionou melhores estimativas para a modelagem do crescimento de *O. fragrantissima*, *P. guianensis* e *P. platyphylla*. As características de copa, forma e iluminação, são as que mais trazem resposta positiva para a compreensão da taxa de crescimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cerullo, G. R.; Edwards, D. P. Actively restoring resilience in selectively logged tropical forests. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, n. 1, p. 107–118, 2019. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13262>.
- Gatti, L. V.; Basso, L. S.; Miller, J. B.; Gloor, M.; Domingues, L. G.; Cassol, H. L. G.; Tejada, G.; Aragão, L. E. O. C.; Nobre, C.; Peters, W.; Marani, L.; Arai, E.; Sanches, A. H.; Corrêa, S. M.; Anderson, L.; Von Randow, C.; Correia, C. S. C.; Crispim, S. P.; Neves, R. A. L. Amazonia as a carbon source linked to deforestation and climate change. **Nature**, v. 595, n. 7867, p. 388–393, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>.
- Hossain, A.; Rigby, R.; Stasinopoulos, M.; Enea, m. Centile estimation for a proportion response variable. *Statistics in Medicine*, v. 35, n. 6, p. 895–904, 2016. <https://doi.org/10.1002/sim.6748>.
- Lima, A. V. N. **Variáveis categóricas do povoamento que influenciam no incremento periódico médio anual em diâmetro (IPAdap) em florestas tropicais**. 2010. 81f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

VI Encontro Brasileiro de Mensuração Florestal

Mognon, F.; Dallagnol, F. S.; Corte, A. P. D.; Sanquetta, C. R.; Maas, G. Uma década de dinâmica florística e fitossociológica em floresta ombrófila mista montana no sul do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 43-59, 2012. <https://doi.org/10.5380/rf.v43i1.29024>.

Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. **Mensura forestal**. San José: GTZ; IICA, 1997. 586 p. Disponível em: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/15038>.

Rigby, R. A.; Stasinopoulos, D. M. Generalized additive models for location, scale and shape. **Journal of the Royal Statistical Society. Series C: Applied Statistics**, v. 54, n. 3, p. 507–554, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2005.00510.x>.

Silva, J. N. M.; Lopes, J. C. A.; Oliveira, L. C.; Silva, S. M. A.; Carvalho, J. O. P.; Costa, D. H. M.; Melo, M. S.; Tavares, M. J. M. **Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 68p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/205499/1/Diretrizes-para-instalacao-e-medicao-de.pdf>. Acesso em: 19 Mar. 2023.

Vanclay, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**, Wallingford: CAB International, 1994. 312p.