

REGRESSÃO QUANTÍLICA BASEADA NO MODELO DE CURTIS PARA ESTIMAR A ALTURA DE FUSTES EM ALTA FLORESTA D'OESTE-RO

Rafael Gomes Leão, Maria Vitória Alexandrina Ferreira, Luiz Flávio Nunes Costa, Tailhane Luiza Andrade de Sousa, Vanessa Elisbão da Silva, Caroline Junqueira Sartori, Bruno Oliveira Lafetá

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais / Departamento de Engenharia Florestal, Avenida Primeiro de Junho, 1043, Centro - 39705-000 - São João Evangelista-MG, Brasil, rafaelgomesps2018@gmail.com, vitoriaa.ferreira84@gmail.com, luiz.flavionunes02@gmail.com, luizatailhane@gmail.com, vaanessael@gmail.com, caroline.sartori@ifmg.edu.br, bruno.lafeta@ifmg.edu.br.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da regressão quantílica na estimativa da altura de fustes em área do bioma Amazônia no município de Alta Floresta D'Oeste-RO, tendo como base o modelo hipsométrico de Curtis. O inventário florestal foi coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro e consistiu na distribuição sistemática de 7 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m), em forma de cruz de Malta. O modelo foi ajustado para todo o banco de dados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e regressão quantílica (RQ) – com percentil igual a 50%, ou segundo quartil. As equações geradas apresentaram poucos desvios, com baixos valores de raiz quadrada do erro médio e média dos desvios absolutos. Os coeficientes de correlação foram moderados e significativos ($r_{Y\hat{Y}} > 0,69$; $p \leq 0,05$). Conclui-se que a regressão quantílica é uma abordagem promissora para a parametrização do modelo hipsométrico de Curtis aplicado à vegetação lenhosa em estudo.

Palavras-chave: Modelagem. Relação hipsométrica. Precisão.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica / Engenharia Florestal.

Introdução

O manejo florestal necessita de informações biométricas detalhadas e confiáveis para garantir um adequado planejamento, monitoramento, mapeamento produtivo e dimensionamento de múltiplos produtos madeireiros (Souza; Soares, 2013; Lafetá et al., 2021). A estimativa da altura total de fustes é uma etapa fundamental para a quantificação volumétrica de recursos lenhosos.

A aplicação de diferentes métodos estatísticos para a estimativa da altura de fustes se relaciona ao fato de que pequenas melhorias em exatidão representam ganhos significativos na qualidade da tomada de decisões por gestores florestais. A literatura disponibiliza uma variedade de procedimentos para modelagem hipsométrica, que incluem desde regressões lineares e não lineares até técnicas avançadas de inteligência artificial (Batista *et al.*, 2014; Campos; Leite, 2017).

O modelo hipsométrico de Curtis (1967) é relativamente simples e frequentemente ajustado pelo método dos mínimos quadrados ordinários. No entanto, essa abordagem pode não capturar adequadamente a variabilidade dos dados e pode enviesar os intervalos de confiança dos parâmetros do modelo. Assim, a regressão quantílica surge como uma alternativa promissora aos métodos tradicionais, ao permitir a modelagem de diferentes quantis da distribuição condicional da variável resposta. Em particular, o segundo quartil tem sido amplamente utilizado na modelagem biométrica com regressão quantílica, oferecendo uma representação mais robusta da distribuição das informações (Araújo Júnior *et al.*, 2016).

Mediante exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho da regressão quantílica na estimativa da altura de fustes em área do bioma Amazônia no município de Alta Floresta D'Oeste-RO, tendo como base o modelo hipsométrico de Curtis (1967).

Metodologia

Os dados foram provenientes do Inventário Florestal Nacional realizado em região de planície no município de Alta Floresta D'Oeste-RO, disponibilizados gratuitamente pelo Sistema Nacional de Informações Florestais (SBF, 2024). A região se encontra em domínio florestal amazônico e possui clima do tipo Aw pela classificação do sistema internacional de Köppen. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1.968 mm e 25,0 °C, respectivamente (Climate-Data.Org, 2024).

O inventário foi coordenado pelo Serviço Florestal Brasileiro e consistiu na distribuição sistemática de 7 conglomerados com quatro subunidades retangulares (20 × 100 m) e perpendiculares em relação ao seu ponto central, em forma de cruz de Malta; a distância entre as subunidades e o ponto central foi de 50m. Detalhes sobre a metodologia de amostragem podem ser encontrados em SBF (2024). Todos os fustes com diâmetro a 1,30 m de altura do solo (DAP, cm) ≥ 10,0 cm e com altura total (H, m) ≥ 5 m foram mensurados com auxílio de fita diamétrica e vara graduada, respectivamente.

O modelo linear hipsométrico de Curtis (1967) foi adotado como referência para a estimativa da altura total em função exclusivamente do diâmetro. O modelo foi ajustado para todo o banco de dados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e regressão quantílica (RQ) – com percentil igual a 50%, ou segundo quartil.

Modelo linear de Curtis (1967):

$$\ln(H) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{DAP} + \ln(\varepsilon)$$

Em que: β_0 e β_1 = parâmetros dos modelos de regressão e ε = erro aleatório.

O desempenho da modelagem foi avaliada de acordo com os valores da Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e Média dos Desvios Absolutos (MDA) e coeficiente de correlação de Pearson ($r_{Y\hat{Y}}$). Menores valores de RQEM e MDA implicaram em melhor qualidade preditiva. Realizaram-se análises de inspeção gráfica dos valores estimados e observados de altura em função do diâmetro, com intervalos de confiança de 95% de probabilidade.

As análises estatísticas foram efetuadas com auxílio do software R versão 4.4.1 (R Core Team, 2024), ao nível de significância de 5%.

Resultados

O inventário florestal contemplou 1.263 fustes com DAP de 10,0 a 95,0 cm (média = 19,3 cm; mediana = 14,5 cm) e altura total de 5,0 a 42 m (média = 12,3 m; mediana = 11,0 m). Os parâmetros dos modelos testados e a qualidade dos ajustes estão apresentados na Tabela 1. Todos os parâmetros das equações foram significativos ($p \leq 0,05$). As equações geradas apresentaram poucos desvios, com baixos valores de RQEM e MDA. Os coeficientes de correlação foram moderados e significativos ($r_{Y\hat{Y}} > 0,69$, $p \leq 0,05$). O modelo de Curtis (1967) ajustado por regressão quantílica exibiu valores um pouco menores de RQEM e MDA, além de maior coeficiente de correlação, em comparação com a abordagem por mínimos quadrados ordinários.

Tabela 1 - Coeficientes e qualidade de ajuste do modelo de Curtis (1967) pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) e regressão quantílica (RQ) para a estimativa da altura de fustes em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia

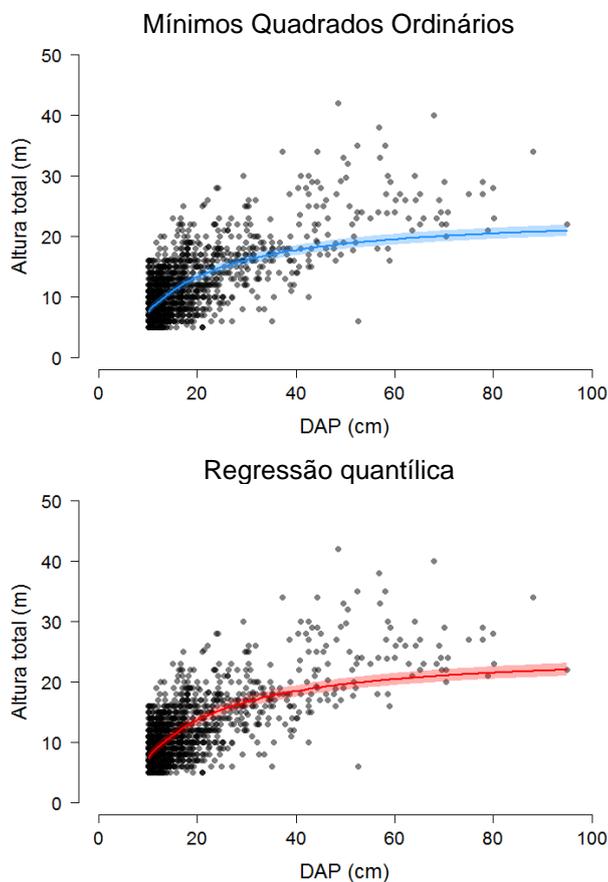
Método	β_0	β_1	RQEM	MDA	$r_{Y\hat{Y}}$
MQO	3,161205*	-11,509802*	4,1833	3,1584	0,6921*
RQ	3,218447*	-12,103412*	4,1154	3,1366	0,6933*

β_0 e β_1 = parâmetros dos modelos lineares de regressão; RQEM = raiz quadrada do erro médio; MDA = média dos desvios absolutos; e $r_{Y\hat{Y}}$ = coeficiente de correlação de Pearson; *significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: os autores.

Todas as equações demonstraram um comportamento assintótico crescente da altura em função do diâmetro (Figura 1). Verificou-se sobreposição de margens de confiança ($1 - \alpha = 0,95$) entre as metodologias testadas para o ajuste do modelo de Curtis (1967).

Figura 1 - Representações gráficas do modelo de Curtis (1967) ajustado pelos métodos dos mínimos quadrados ordinários e regressão quantílica para a estimativa da altura de fustes em Alta Floresta D'Oeste, Rondônia. Margens de confiança definidas à 95% de probabilidade.



Fonte: os autores.

Discussão

Estabeleceram-se duas relações funcionais baseadas no modelo de Curtis (1967) para a estimativa da altura de fustes em uma área de domínio amazônico no município de Alta Floresta D'Oeste, Rondônia. A consistência biológica das equações foi especialmente evidenciada pelo parâmetro angular negativo, indicando que fustes mais altos estão associados a menores medidas diamétricas.

Os resultados obtidos estão em consonância com a literatura (Campos; Leite, 2017; Lafeté *et al.*, 2021), onde diversos trabalhos realizados em vegetação natural apresentam estimativas hipsométricas mais dispersas do que em povoamentos equiâneos. Diante da variabilidade genética e ambiental característica dos ecossistemas tropicais (Taiz; Zeiger, 2013), o desempenho dos ajustes foi considerada satisfatória do ponto de vista estatístico e biológico. Ambas as equações delimitaram parte dessa complexidade estrutural, refletindo de forma geral a relação entre diâmetro e altura (Tabela 1).

As estimativas hipsométricas do modelo de Curtis (1967) foram um pouco mais acuradas quando ajustado pela metodologia de regressão quantílica, com percentil igual a 50%. Enfatiza-se que essa metodologia de ajuste é normalmente indicada principalmente em condições de ocorrência de valores discrepantes, reduzindo o enviesamento de parâmetros do modelo matemático (Gujarati; Porter, 2011). Os resultados do trabalho contribuem para o desenvolvimento de futuras pesquisas que buscam melhorias na precisão da modelagem biométrica e quantificação madeireira aplicada a vegetações naturais.

Conclusão

A regressão quantílica é uma abordagem promissora para a parametrização do modelo hipsométrico de Curtis (1967) aplicado à vegetação lenhosa de ecossistemas naturais em Alta Floresta D' oeste, Rondônia.

Referências

- ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G. Curvas de índices de local em povoamentos de eucalipto obtidas por regressão quantílica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 6, p. 720-727, 2016.
- BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais: árvores, arvoredos e florestas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: UFV, 2017. 636p.
- CLIMATE-DATA.ORG. Clima: São João Evangelista. Disponível em: <<https://en.climate-data.org/south-america/brazil/rondonia/alta-floresta-d-oeste-42769/>>. Acesso em: 01 ago. 2024.
- GUJARATI, D.N.; PORTER, D.C. **Econometria básica**. 5. Ed. Porto Alegre -RS: AMGH Editora Ltda., 2011. 924p.
- LAFETÁ, B. O.; CARVALHO, F. A. N.; ASSUNÇÃO, S. D.; SANTOS, M. A.; PERPÉTUO, I. A.; PIMENTA, I. A.; PENIDO, T. M. A.; VIEIRA, D. S. Crown quality and hipsometric relationships for Rubiaceae family in water springs of Atlantic forest fragment. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 402-410, 2021.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2024.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. Sistema nacional de informações florestais. Disponível em: <<https://snif.florestal.gov.br/pt-br/inventario-florestal-nacional-ifn>>. Acesso em 1 ago. 2024.
- SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Florestas nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa: UFV, 2013. 322 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) pelo apoio logístico e estrutural para a realização do presente projeto.

Ao Serviço Florestal Brasileiro pela disponibilização gratuita dos dados do Inventário Florestal Nacional.