

CIÊNCIA DE DADOS · UFC · 24 DE DEZEMBRO DE 2025

Modeling Commercial Height in Amazonian Forests: Accuracy of Mixed-Effects Regression Versus Random Forest

Por Renato Bezerra da Silva Ribeiro, Leonardo Pequeno Reis, Antônio Pedro Fragoso Woycikiewicz, Marcello Neiva de Mello, Afonso Henrique Moraes Oliveira, Carlos Tadeu dos Santos Dias e Lucietta Guerreiro Martorano

Fonte: OpenAlex · UFC · [Publicação original](#)

INOVAÇÃO	APLICABILIDADE	POTENCIAL ECONÔMICO	MATURIDADE
7/10	9/10	8/10	Alta

Esta pesquisa compara abordagens de modelagem estatística para estimativa de altura comercial de árvores em florestas amazônicas, com regressão de efeitos mistos superando a Random Forest. Os resultados fornecem ferramentas valiosas para planejamento de manejo florestal sustentável e previsões volumétricas em florestas tropicais biodiversas.

NÚCLEO DA ANÁLISE

Ideia de startup ou produto

Desenvolver uma plataforma SaaS que implemente esses modelos com capacidade de coleta de dados móveis, especificamente adaptada para empresas de inventário florestal trabalhando em regiões tropicais, com recursos para estimativa em tempo real de volume e otimização de colheita.

Aplicações práticas

As abordagens de modelagem podem ser integradas em sistemas de manejo florestal para estimativa precisa de volume de madeira, planejamento de colheita e inventário florestal sustentável em regiões tropicais com alta biodiversidade.

Potencial de mercado

Alto potencial para adoção por empresas florestais, certificações de madeira sustentável, órgãos governamentais de manejo florestal e projetos de crédito de carbono na região amazônica e florestas tropicais similares globalmente.

FUNDAMENTO CIENTÍFICO

Problema abordado

A estimativa precisa da altura comercial de árvores é crucial para predições volumétricas em planos de manejo florestal, especialmente em florestas amazônicas com alta diversidade de espécies, onde métodos tradicionais podem ser menos eficazes.

Metodologia

O estudo comparou duas abordagens preditivas (Regressão de Efeitos Mistos vs Random Forest) usando dados de 1745 árvores colhidas na Floresta Nacional do Tapajós. O modelo de efeitos mistos usou o diâmetro à altura do peito como efeito fixo e espécie como efeito aleatório, enquanto a Random Forest usou ambos como preditores.

Principais descobertas

O modelo de efeitos mistos alcançou maior precisão ($r=0,77$; $RMSE=2,95m$) em comparação com a Random Forest ($r=0,73$; $RMSE=3,10m$). Espécies com maior altura comercial influenciaram significativamente ambos os modelos. A Análise de Componentes Principais revelou separação estrutural entre grupos de volume comercial.

LEITURA PARA GESTÃO PÚBLICA

Apoiar implementação de políticas de manejo florestal sustentável fornecendo ferramentas científicas para monitoramento preciso e fiscalização de regulamentações de exploração florestal em regiões amazônicas.

PARCERIA UNIVERSIDADE × EMPRESA

Colaboração entre pesquisadores universitários e empresas florestais para refinar modelos para espécies e regiões específicas, potencialmente estendendo para outros ecossistemas florestais tropicais em todo o mundo.

OPORTUNIDADES DERIVADAS

4 direções estratégicas identificadas

STARTUP · IMPACTO ALTO · CIÊNCIA DE DADOS

Plataforma de Analytics para Manejo Florestal

Plataforma SaaS implementando os modelos estatísticos validados para estimativa de altura comercial com coleta de dados móveis e análise preditiva

PARCERIA · IMPACTO MÉDIO · INDÚSTRIA 4.0

Consortio de Pesquisa Florestal Tropical

Parceria empresa-academia para extensão de modelos para outras regiões florestais tropicais e espécies de árvores

Sistema de Monitoramento Florestal Sustentável

Implementação desses modelos em sistemas de manejo florestal governamentais para monitoramento de conformidade

Módulo de Software para Inventário Florestal

Integração dos modelos em produtos de software de manejo florestal já utilizados por empresas de madeira

ABSTRACT ORIGINAL

Accurate estimation of commercial tree height is essential for volumetric predictions in forest management plans, particularly in Amazonian forests with high species diversity. We assessed two predictive approaches for estimating commercial height, using the sum of actual commercial log lengths as the reference metric. The dataset comprised 1745 harvested trees from Annual Production Unit 8 in the Tapajós National Forest. Three commercial volume groups dominated the structural gradient: 46.1% of the trees Group 1 ($<6\text{ m}^3$), 36.7% into Group 2 ($6\text{--}10\text{ m}^3$), and 17.2% into Group 3 ($>10\text{ m}^3$). The Linear Mixed-Effects Model included diameter at breast height (DBH) as a fixed effect and species as a random effect, whereas the Random Forest model used DBH and species as predictors. The mixed-effects model achieved higher accuracy ($r = 0.77$; $\text{RMSE} = 2.95\text{ m}$), while the Random Forest model performed slightly worse ($r = 0.73$; $\text{RMSE} = 3.10\text{ m}$). Species with greater commercial heights exerted a strong influence on both modelling approaches. Principal Component Analysis revealed structural separation among the three volume groups, driven by DBH, commercial height, number of logs, and log volume. The mixed-effects model provided effective framework for predicting commercial height in heterogeneous tropical forests.

MATÉRIA PARA LEIGOS

Para leigos: Modelos de precisão na altura de árvores na Amazônia

O cenário atual

Na Amazônia, a floresta apresenta alta diversidade de espécies, tornando o manejo florestal um desafio complexo. Estimar com precisão a altura das árvores de valor comercial é essencial para prever volumes madeireiros, fundamental em planos de manejo sustentável. Essa informação baseia-se no comprimento total das toras comerciais retiradas de cada árvore.

O que os pesquisadores fizeram

Pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC) desenvolveram um estudo para comparar dois métodos estatísticos na estimativa da altura comercial de árvores na Amazônia. Eles analisaram dados de 1.745 árvores cortadas na Unidade de Produção Anual 8 da Floresta Nacional do Tapajós. Os métodos comparados foram o Modelo de Efeitos Mistos e o Random Forest, ambos utilizando o diâmetro a altura do peito (DAP) e a espécie como variáveis preditivas.

Como funciona na prática

O Modelo de Efeitos Mistos funcionou combinando o diâmetro da árvore (medido a 1,3 metros de altura) como um efeito fixo e a espécie como um efeito aleatório. Isso significa que o modelo considera o diâmetro como um fator constante para todas as árvores, mas ajusta a previsão com base nas características específicas de cada espécie. O Random Forest, por outro lado, é um método de machine learning que cria múltiplas árvores de decisão e combina seus resultados para fazer a previsão. No estudo, ambos os modelos usaram dados de árvores divididas em três grupos de volume: 46,1% com menos de 6 m^3 , 36,7% com $6\text{--}10\text{ m}^3$ e 17,2% com 10 m^3 ou mais.

Resultados e evidência

Os resultados mostraram que o Modelo de Efeitos Mistos teve desempenho ligeiramente superior ao Random Forest. O modelo misto alcançou uma correlação de 0,77 e um erro quadrático médio de 2,95 metros, enquanto o Random Forest obteve correlação de 0,73 e erro de 3,10 metros. Análise de componentes principais revelou que os três grupos de volume se distinguiram principalmente pelo diâmetro, altura comercial, número de toras e volume das toras. Ambos os modelos foram significativamente influenciados por espécies com maior altura comercial.

Implicações práticas

Para gestores florestais e empresas madeireiras, os resultados sugerem que o Modelo de Efeitos Mistos pode ser uma ferramenta mais confiável para estimar a altura comercial de árvores na Amazônia. Com uma precisão superior, esse modelo pode ajudar no planejamento mais sustentável do corte madeireiro, reduzindo a sobreexploração de espécies e melhorando a gestão de recursos florestais. A capacidade de prever a altura com base apenas no diâmetro e na espécie simplifica o processo de coleta de dados em campo, tornando o manejo mais eficiente e menos custoso.

Limitações e próximos passos

O estudo foi realizado com dados de uma única unidade de produção florestal, limitando a generalização dos resultados para outras regiões da Amazônia. Além disso, os pesquisadores não testaram outros algoritmos de machine learning que poderiam apresentar melhor desempenho. Próximos passos incluem expandir a análise para outras áreas florestais, comparar mais métodos preditivos e investigar como outros fatores ambientais e biológicos podem influenciar a altura comercial das árvores na região amazônica.

QUEM SÃO OS PESQUISADORES

Quem são os pesquisadores

O estudo foi conduzido por um grupo de sete pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC): Renato Bezerra da Silva Ribeiro, Leonardo Pequeno Reis, Antônio Pedro Fragoso Woycikiewicz, Marcello Neiva de Mello, Afonso Henrique Moraes Oliveira, Carlos Tadeu dos Santos Dias e Lucietta Guerreiro Martorano. O paper não detalha os papéis específicos de cada autor no estudo, suas formações acadêmicas ou trajetórias profissionais anteriores.

PALAVRAS-CHAVE

Amazonian · Diameter at breast height · Random forest · Random effects model · Mean squared error · Principal component analysis · Regression · Tree (set theory) · Linear regression