

RELAÇÃO DIAMÉTRICA UTILIZANDO SISTEMA DE INFERÊNCIA NEURO-FUZZY

DIAMETER RELATION USING NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM

Gabriela Letícia Ramos de Carvalho¹ Emanuely Canabrava Magalhães² Paulo Ricardo Santos Miranda³
Sthefany Mendes Zuba⁴ Christian Dias Cabacinha⁵ Carlos Alberto Araújo Junior⁶

RESUMO

Desde o início do estabelecimento das florestas plantadas no Brasil pesquisas têm sido desenvolvidas por empresas e universidades o que trouxe considerável avanço no setor florestal brasileiro, dentre os objetos de pesquisa, destaca-se atividades que visam diminuir a intensidade amostral em inventários. Por muito tempo a altura foi a variável de interesse em que eram desenvolvidos métodos para estimativa da mesma, porém com o avanço do uso de ferramentas de sensoriamento remoto e a implementação de LiDAR em inventários, a variável de interesse passou a ser o diâmetro e para tais estimativas ainda existem poucas alternativas. Nesse caso, surge a oportunidade de utilizar inteligência artificial para estabelecer estimativas de diâmetro a partir das alturas das árvores. Neste estudo, é comprovada a eficiência dos sistemas híbridos para a estimativa de diâmetro, porém, verifica-se a necessidade de dados que representem bem os dados da validação, quando isso não ocorre os resultados tendem a ser mais imprecisos.

Palavras-chave: estimativa de diâmetro; inventário florestal; inteligência artificial

ABSTRACT

Since the beginning of the establishment of planted forests in Brazil research has been developed by companies and universities which has brought considerable progress in the Brazilian forestry sector, among the objects of research stands out activities that aim to decrease the sampling intensity in inventories. For a long time the height was the variable of interest in which methods were developed to estimate it, however with the advance of the use of remote sensing tools and the implementation of LiDAR in inventories the variable of interest became the diameter and for such there are still few alternatives. In this case the opportunity arises to use artificial intelligence to establish diameter estimates from tree heights. In this study the efficiency of the hybrid systems for diameter estimation is proven, but there is a need to have data that represents the validation data. When this does not occur, the results tend to be more imprecise.

Keywords: diameter estimate; forest inventory; artificial intelligence

INTRODUÇÃO

As florestas plantadas existem no Brasil desde o século XX, inicialmente a produção era destinada à construção de ferrovias. Em 1971, o governo federal disponibilizou incentivos fiscais, o que alavancou o setor florestal. Até o ano 2000, cerca de 4,8 milhões de hectares do território nacional já estavam sendo ocupados por plantios de eucaliptos e pinus (Almeida & Soares, 2003). O crescimento do setor florestal acarretou grande número de pesquisas nessa área, o que fez com que o país assumisse uma posição de destaque quanto à silvicultura e manejo de suas florestas plantadas, principalmente as de espécies do gênero *Eucalyptus*. Porém, ainda assim existe a preocupação com o desenvolvimento de técnicas para estimativa de produção.

A determinação da produção é feita principalmente com base no volume de madeira por unidade de área. Para esse cálculo, são necessárias informações quantitativas da floresta, expressas principalmente pelo diâmetro e altura das árvores. Tais informações podem ser obtidas em campo, através de medidas diretas para o diâmetro à 1,30 m do solo (DAP) e indiretas, por meio de instrumentos com base em princípios geométricos ou trigonométricos, para a altura (h). A determinação da altura com base nestes métodos está sujeita a erros de medição, a exemplo da não visualização das copas quanto há ventos fortes no local.

Para otimizar o processo de medição em parcelas de inventário, são coletados os diâmetros de todas as árvores e somente algumas alturas são coletadas, sendo as demais estimadas por equações hipsométricas. Entretanto com a aplicação de novas tecnologias está ocorrendo alteração nas necessidades de estimativas, fazendo com que o DAP seja a variável a ser estimada. Isso ocorre principalmente pela utilização de sensores do tipo LiDAR, os quais permitem a estimativa das alturas das árvores a partir de um levantamento com veículos

¹ Estudante de graduação em Engenharia Florestal, Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Universitária, 1000, CEP 39404-547, Montes Claros (MG), Brasil. E-mail: gabyletycia@hotmail.com

aéreos tripulados ou não tripulados. Isso faz com que a variável h seja obtida inicialmente, sendo necessário estimar os valores de DAP para então obter o volume das árvores. Essas estimativas podem ser feitas com modelos clássicos de regressão (Cosenza, 2016) ou com técnicas de inteligência artificial (IA).

Tais ferramentas de IA já são aplicadas há certo tempo na área florestal, principalmente em estimativas volumétricas e hipsométricas. Dentre as técnicas de IA, o Sistema de Inferência Neuro Fuzzy (ANFIS) representa uma junção das Redes Neurais Artificiais (RNA), que são inspiradas do cérebro humano havendo certos algoritmos que através da saída das redes é capaz de reajustar os parâmetros intrínsecos, e da Lógica Fuzzy, em que são determinados graus de pertencimento de um dado a um determinado conjunto, sendo uma vantagem para o reconhecimento de padrões. Esse sistema híbrido então combina as vantagens de ambos.

Vários trabalhos têm comprovado a aplicabilidade dos ANFIS na área florestal, a exemplo de Brandão (2007) para estimativa da altura, Vieira (2015) para a prognose de diâmetro e altura de árvores individuais e Pereira (2008) para estimar o perfil de árvores.

Assim, o objetivo deste estudo foi verificar a precisão das estimativas de diâmetro utilizando um sistema de inferência neuro-fuzzy para aplicação nas atividades de inventário.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo correspondem à dados de inventário florestal contínuo realizados em um povoamento de *Eucalyptus sp.* localizado na região norte do Estado de Minas Gerais. Foram utilizadas medições realizadas entre os anos de 2013 e 2016, considerando-se dados correspondentes à altura (h) e diâmetro à 1,30 m do solo (DAP) dos indivíduos e suas respectivas idades (Id) e áreas úteis de plantio (Ap). A base de dados foi dividida sob dois critérios para treinamento e validação, correspondendo a 11.929 e 202 árvores, respectivamente. O primeiro (C1) considerou como dados de treinamento aqueles obtidos nas medições realizadas nos anos de 2013, 2014 e 2015. Para esse caso, os dados de validação foram aqueles coletados no ano de 2016. O segundo critério (C2), considerou uma divisão aleatória entre dados de treinamento e de validação.

O processamento dos dados foi realizado no software MATLAB, utilizando o método Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System-ANFIS, sugerido por Jang (1993) e considerando como variável de saída o DAP e como variáveis de entrada a Id , a h e a Ap . A partir de testes preliminares, foi definido para treinamento um número de dez épocas e três funções de pertinência. Utilizou-se o método híbrido para treinamento, conforme Araújo Júnior et al. (2016).

Para analisar resultados obtidos, foram gerados gráficos de dispersão e histogramas com classes de erro em porcentagem, foi calculado raiz quadrada do erro médio percentual-RQME (%) (equação 3), BIAS (equação 2), correlação $-r$ (equação 4) e a média do erro percentual-EMP (equação 5).

$$e_i = \hat{y}_i - y_i \quad (\text{equação 1})$$

$$\text{BIAS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i) \quad (\text{equação 2})$$

$$\text{RQME (\%)} = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (\text{equação 3})$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{equação 4})$$

$$\text{EMP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[100 \cdot \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{y_i} \right] \quad (\text{equação 5})$$

Em que: \hat{y}_i = valor estimado; y_i = valor observado para o i -ésimo dado; n = número total de observações; \bar{y} = média dos valores observados; $\bar{\hat{y}}$ = média dos valores estimados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das estatísticas apresentados na Tabela 1 obtidos mostram que os resultados do treinamento para ambos os conjuntos de dados foram idênticos. Entretanto, ao avaliar os resultados para os

dados de validação, houve uma superioridade em termos das estatísticas de análise para o conjunto C2, o que demonstra a necessidade de melhoria no processamento, na coleta de dados ou na utilização de mais variáveis independentes para o treinamento do sistema quando apenas dados históricos são utilizados para calibração dos parâmetros do mesmo.

TABELA 1: Valores estatísticos calculados com base nas estimativas do sistema de inferência neuro-fuzzy
 TABLE 1: Statistical values calculated based on the estimates of the neuro-fuzzy inference system.

Etapa	Critério	Bias	RQME (%)	r	EMP
Treino	1	0,00	11,20	0,92	1,51
	2	0,00	11,20	0,92	1,51
Validação	1	0,67	12,01	0,58	5,70
	2	0,15	11,70	0,91	2,26

Em que: RQME (%) = raiz quadrada do erro médio percentual; r = correlação; EMP = média do erro percentual.

A Figura 1 apresenta os gráficos de distribuição dos resíduos, a partir deles é reafirmado o fato de que as estimativas feitas com o considerando o treinamento que utiliza apenas dados de inventários passados geraram resultados que menos precisos. A partir dos histogramas, é possível observar que para as estimativas na validação do C2 os erros ficaram proporcionalmente próximos aos erros que ocorreram também no treino e estes estão concentrados próximos ao zero e bem distribuídos quanto a posição em relação ao centro (zero), o que faz com que haja certa compensação da subestimativa e superestimativa, enquanto que para o C1 os erros não apresentam um padrão de distribuição, os erros ocorreram de forma diferente do treino tendendo a superestimativa .

As estimativas realizadas apresentaram bons resultados para o processamento C2 em que foram fornecidos no treino dados aleatorizados na base de dados e conseqüentemente dados que representavam a validação, enquanto para as estimativas do C1 os resultados não foram satisfatórios por não serem apresentados dados que representassem bem a validação.

Os resultados para o C2 apontam que a estimativa de diâmetro pode ser realizada de forma eficiente com sistemas neuro-fuzzy, sendo necessários mais estudos de variáveis de campo que possam aperfeiçoar as estimativas ou fazer com que se torne possível a estimativa precisa quando não houverem dados reais representativos da validação para a variável de interesse.

CONCLUSÃO

A estimativa de diâmetro pode ser realizada de forma eficiente com sistemas neuro-fuzzy.

São necessários mais estudos acerca de variáveis de campo que possam aperfeiçoar as estimativas ou fazer com que se torne possível uma estimativa precisa a partir de dados históricos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Minas Gerais e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pelo apoio técnico e financeiro.

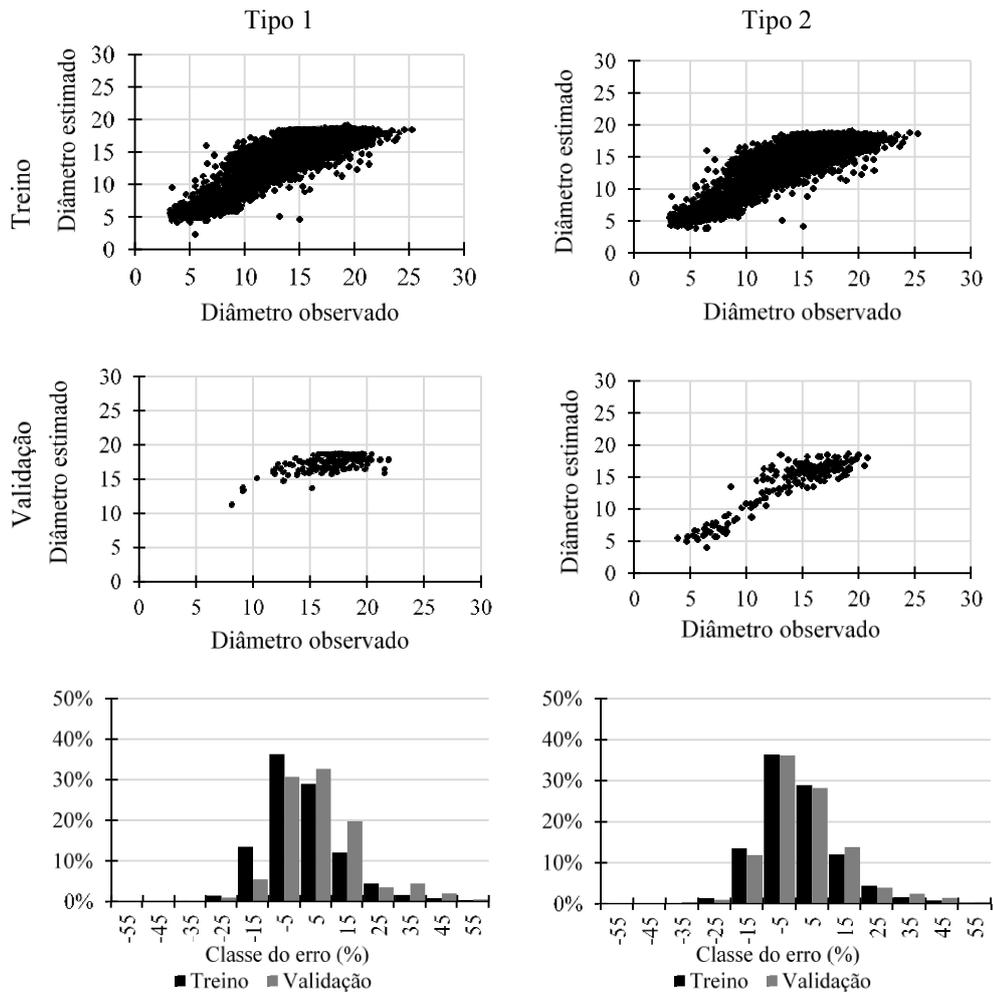


FIGURA 1: Gráficos de dispersão dos resíduos para treino e validação considerando C1 e C2
 FIGURE 1: Scatter plot of the residuals for training and validation considering C1 and C2

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO JÚNIOR, C. A. et al. Modelling and forecast of charcoal prices using a neuro-fuzzy system. *Cerne*, Lavras, v. 22, n. 2, p. 151-158, 2016.
- BINOTI, D. H. B. et al. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. *Agrária*, Recife, v. 8, n. 1, p. 125-129, 2013.
- ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.2, p.159-170, 2003.
- BRANDÃO, F. G. *Estimativa da altura total de Eucalyptus sp utilizando lógica fuzzy e neuro-fuzzy*. 2007. 62 f. Monografia de Graduação - Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência da Computação, Lavras, 2015.
- VIEIRA, G. C. *Prognose do diâmetro e da altura de árvores individuais utilizando inteligência artificial*. 2015. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Jerônimo Monteiro, 2015.
- JANG, J. S. R. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, *IEEE Transactionson Systems, Man and Cybernetics*, [s.1], v.23, n. 3, p. 665-685, 1993.
- PEREIRA, R. D. A. *Modelagem neuro-fuzzy na estimativa do perfil de Eucalyptus sp*. 2008. 48 f. Monografia de Graduação– Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência da computação, Lavras, 2008.