

REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS NA ESTIMAÇÃO DE VOLUME COM CASCA DE MOGNO AFRICANO (*Khaya ivorensis*)

Julio Conceição dos Santos NETO¹

Milena dos Santos RODRIGUES¹

Deoclides Ricardo de SOUZA¹

Elton da Silva LEITE¹

Macio Lopes da SILVA²

Leonardo Pequeno REIS³

Liniker Fernandes da SILVA¹

- RESUMO: O mogno africano possui madeira nobre de alto potencial econômico e vasta utilização na indústria moveleira, construção civil e produção de painéis e laminados apresentando boa trabalhabilidade. Sendo uma cultura ainda carente de informações referentes ao seu manejo no Brasil, o trabalho objetivou a utilização de Redes Neurais Artificiais (RNAs) para estimação de volume de árvores individuais em um povoamento de mogno africano (*Khaya ivorensis*) no município de Pirapora, Minas Gerais. Por meio do software NeuroForest 4.0, foi feito o treinamento de 2400 redes, com separação de 60% dos dados para treinamento e 40% para validação, com duas configurações distintas de sinais de entrada, sendo a primeira com uso da altura total (HT) e do diâmetro a 1,3 m de altura (DAP); e a segunda com uso de diâmetros em quatro alturas diferentes da árvore. As (RNAs) treinadas com (HT) e (DAP) obtiveram os melhores resultados estatísticos de raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM), correlação entre valores estimados e esperados e distribuição residual. Assim é eficiente o uso de Redes Neurais Artificiais na estimação de volume com casca de (*Khaya ivorensis*).
- PALAVRAS-CHAVE: RNA's, estimação volumétrica, inteligência artificial.

1 Introdução

O mogno africano da família *Meliaceae*, possui madeira nobre de alto potencial econômico e vasta utilização na indústria moveleira, construção civil e produção de painéis e laminados (BARROS *et al.*, 2015; GOMES, 2010). Tendo aptidão edafoclimática para a espécie (CASAROLI *et al.*, 2018), e um déficit de madeira de reflorestamento (BACHA e BARROS, 2004; BACHA, 2008), o Brasil tem grande

¹ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, CEP: 44.380-000, Cruz das Almas, BA, Brasil, E-mail: julionetoguitar94@gmail.com; milenaqrodrigues@gmail.com; drsouza@ufrb.edu.br; eltonslite@gmail.com; liniker@ufrb.edu.br

² Universidade Federal de Viçosa - UFV, Departamento de Engenharia Florestal, CEP: 36.570-900, Viçosa, MG, Brasil. E mail: marlosil@ufv.br

³ Instituto de Desenvolvimento Sustentável de Mamirauá - IDSM, Caixa Postal 38, CEP: 69. 553-225, Tefé, AM, Brasil, E mail: leonardopequenoreis@gmail.com

potencial para produção do Mogno, o que pode ser comprovado pelo crescimento satisfatório de plantios jovens de Mogno africano estabelecidos principalmente no estado de Minas Gerais (RIBEIRO *et al.*, 2017).

De maneira geral, a árvore adulta tem altura variando de 30 a 35 metros, podendo chegar a 60 metros, com o tronco de até 2 metros de diâmetro podendo apresentar sapopemas na base, para sustentação. Suas folhas são parepinadas, decíduas, de coloração verde clara ou mais escura. As flores são produzidas em inflorescências em panículas, o fruto é globoso e possui 5 a 8 cm de diâmetro, contendo 4 ou 5 valvas preenchidas com numerosas sementes aladas e achatadas (PINHEIRO *et al.*, 2011).

A introdução do mogno africano no Brasil teve como objetivo substituir o Mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), devido à resistência a *Hypsiphyla grandella*, principal praga do mogno nativo, que ataca o broto terminal da planta prejudicando o seu desenvolvimento (GASPAROTTO *et al.*, 2001). O mogno africano pode substituir o mogno brasileiro gerando retorno a médio e longo prazo, apresentando viabilidade econômica, gerando receitas a partir do 8o ano, com ótima lucratividade anual (GOMES, 2010).

Com aproximadamente 10 mil hectares plantados, o Brasil tem, em sua maioria, plantios jovens no estado de Minas Gerais. Nos primeiros 12 meses de vida as árvores apresentam aproximadamente 3,9 cm de diâmetro a 1,3 metros de altura DAP e 3,0 m em altura (LOPES *et al.*, 2012). É uma cultura ainda carente de informações referentes ao manejo no Brasil, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisas que auxiliem os silvicultores no manejo da espécie (RIBEIRO *et al.*, 2017). Dentre estas carências há a falta de mecanismos para quantificação do volume de árvores. Neste quesito, as equações volumétricas, que para o Mogno africano foram estudadas por Silva *et al.* (2016), constituem uma ferramenta importante para a quantificação da produção florestal, servindo como base para o manejo florestal sustentável (LEITE e ANDRADE, 2003). Além das equações, o estudo de Silva *et al.* (2009), recomenda o uso Redes Neurais Artificiais (RNA) aplicadas à previsão de produção volumétricas de florestas plantadas.

A utilização das RNA's para estimação da produção florestal apresenta adequação ao problema (SILVA *et al.*, 2009), devido algumas características de sua natureza: estrutura maciça e paralelamente distribuída (camadas); habilidade de aprender e generalizar capacitando-as para resolução de problemas mais complexos; apresentam tolerância a falhas e ruídos; tem capacidade de modelar diferentes variáveis e suas relações não lineares; podem utilizar variáveis categóricas (qualitativas) e numéricas (quantitativas); apresenta analogia neurobiológica (HAYKIN, 2001).

A aplicabilidade das RNA's em relação à regressão para estudar povoamentos já foi destacada em espécies do gênero *Eucalyptus* (SILVA *et al.*, 2009; BINOTI *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2017;), *Pinus* (DIAMANTOPOULOU, 2005), Teca (VENDRUSCOLO *et al.*, 2017), além de serem usadas no estudo em florestas nativas (REIS *et al.*, 2016, REIS *et al.*, 2018). Embora a técnica tenha eficiência comprovada, estudos envolvendo seu uso em plantios de mogno africano ainda são raros.

O presente trabalho teve como objetivo a utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA's) para estimação de volume com casca de árvores individuais em um povoamento de mogno africano (*Khaya invorensis*) no município de Pirapora, Minas Gerais, Brasil.

2 Material e métodos

2.1 Dados

Os dados utilizados para o presente trabalho foram obtidos em inventário florestal de um plantio de *Khaya ivorensis* (Mogno-africano) da empresa Mahogany, no município de Pirapora (latitude 17°21'55 S e longitude 44°56'59 W), Mesorregião Norte de Minas Gerais. O plantio é seminal, com talhões de idade entre 30 e 47 meses, com espaçamento de 4 × 3 metros em Latossolo Vermelho distrófico.

Foram cubadas, utilizando método de Smalian (CAMPOS e LEITE, 2013), 25 árvores. Com auxílio de um Critérion RD 1000, foram tomadas medidas de circunferência em diferentes alturas (0; 0,3; 1,3; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 m e assim sucessivamente).

Tabela 1 - Descrição dos diâmetros e alturas máximo, mínimo e médio para árvores de *Khaya ivorensis* com idade entre 30 e 47 meses plantadas em espaçamento 4 × 3 metros no município de Pirapora, Minas Gerais

Variável dendrométrica	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
DAP (cm)	6,81	16,14	24,03	5,49
Altura Total HT (m)	6,7	11,9	21,4	3,84

2.2 Redes neurais artificiais

A arquitetura básica das RNA's é composta por uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas e uma camada de saída (Figura 1) (BINOTI *et al.*, 2010).

No processamento, sinais X_1, X_2, \dots, X_n são apresentados à camada de entrada da RNA, posteriormente foram multiplicados pelos pesos W_1, W_2, \dots, W_n e o somatório destes resultados passou por uma função de ativação $g(\cdot)$, gerando o sinal de saída do neurônio.

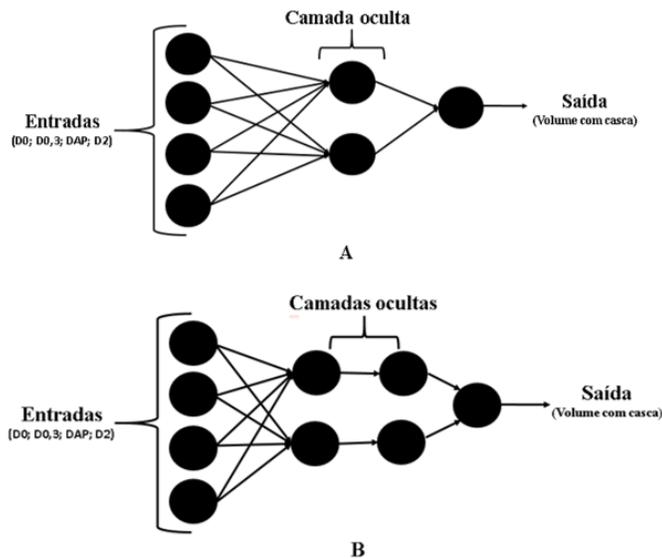


Figura 1 – Arquitetura de uma Rede Neural, treinada com diâmetros em diferentes alturas. (A) com uma única camada e (B) multicamadas.

2.3 Treinamento das redes neurais artificiais

Para a modelagem do volume com casca das árvores de *Khaya ivorensis* foram treinadas, com auxílio do software NeuroForest 4.0, disponível em: <http://neurodap.com.br/>, 2400 redes neurais artificiais com duas configurações distintas de sinais de entrada (Tabela 2). Na primeira configuração, foi utilizada a altura total (Ht) em metros e o diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) em centímetros. Na segunda configuração, foram utilizados diâmetros (na unidade centímetros) em quatro alturas diferentes da árvore, sendo elas (0,0; 0,3; 1,3; e 2,0 metros).

Tabela 2 - Variáveis usadas como entrada nas Redes Neurais Artificiais para estimação de volume em árvores de *Khaya ivorensis* com idade entre 30 e 47 meses plantadas em espaçamento 4×3 metros no município de Pirapora, Minas Gerais

Camada de entrada	Saída do neurônio
DAP (cm), HT (m)	Volume com casaca (m ³)
D0; D0,3; DAP; D2 (cm)	Volume com casca (m ³)

O banco de dados foi aleatoriamente dividido para que se pudesse proceder com as etapas de treinamento (60% dos dados) e validação (40% dos dados) das RNA's treinadas. O algoritmo usado foi o Neat (com população de 1000 e Densidade das Conexões Iniciais

de 0,1). Foram testadas diferentes funções de ativação, e o critério de parada usado foi o número de ciclos, que variou de 2500 a 3500 ciclos.

2.3 Avaliação das redes neurais artificiais

Para a avaliação do desempenho das Redes Neurais Artificiais utilizadas, foi utilizado os seguintes critérios:

- Coeficiente de correlação: Esta estatística assume valores entre -1 e 1, sendo que quanto mais próximo a 1 maior a correlação entre os valores observados e estimados. É calculado por

$$r_{y\hat{y}} = \frac{cov(y\hat{y})}{\sqrt{s^2(y)s^2(\hat{y})}} \quad (1)$$

em que S^2 - variância; cov - covariância; y - volume futuro observado; \hat{y} - volume futuro estimado.

- Raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEM): estatística em que menores estimativas do erro indicam maior confiabilidade do modelo (CAMPOS & LEITE, 2013). É obtida por

$$RQEM = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2}, \quad (2)$$

em que n – número de observações; y - volume futuro observado e \hat{y} - volume futuro estimado.

- Análise de resíduos: foram plotados gráficos de distribuição dos erros em função da variável de interesse estimada. Os erros foram calculados da seguinte forma:

$$erro (\%) = 100 \times \frac{(\hat{y}-y)}{y}. \quad (3)$$

3 Resultados e discussão

Entre as configurações testadas, as (RNAs) com melhores resultados para estimação de volume com casca de *Khaya ivorensis*, utilizando como variável de entrada (DAP) e (HT) (Tabela 3), foram treinadas com arquiteturas simples, com um neurônio na camada oculta. Em estudo de configuração de treinamento (RNA's) para estimação do volume de Eucalipto, Binoti *et al.* (2014a) também obteve resultados satisfatórios com 1 único neurônio na camada oculta, demonstrando ser desnecessário redes com estruturas complexas para estimação de volume de árvores.

O número de ciclos para treinamento das melhores (RNA's) variou entre 3000 e 3300 ciclos, sendo uma baixa variação (Tabela 3). Podem ocorrer dois problemas com as (RNA) se o número de ciclos selecionados para o treinamento não for o apropriado. No primeiro deles a aprendizagem é insuficiente, ocorrendo quando o número de ciclos é baixo não dando oportunidade para a rede obter melhores resultados. O outro problema é o de memorização, quando o número de ciclos é alto, assim a rede pode (decorar) os dados e diminuir sua capacidade de generalização dos dados (HAYKIN, 2001).

Tabela 3 - Estatísticas das Redes Neurais Artificiais treinadas para estimação de volume com casca a partir da variável de entrada altura total (HT) e diâmetro a 1,3 m de altura (DAP), para árvores de *Khaya ivorensis*, dispostas da melhor para pior

RNA	Arquitetura	Nº Ciclos	RQEM (m³)		Correlação	
			Treino	Validação	Treino	Validação
5	2-1-1	3300	0,0129	0,0369	0,9926	0,9812
4	2-1-1	3300	0,0132	0,0380	0,9932	0,9827
3	2-1-1	3000	0,0186	0,0327	0,9880	0,9806
2	2-1-1	3000	0,0198	0,0330	0,9866	0,9819
1	2-1-1	3000	0,0183	0,0347	0,9886	0,9807

Em um trabalho de estimativa volumétrica com (RNAs) de Júnior *et al.*, (2014) em Minas Gerais com *Toona ciliata M. Roem*, espécie pertencente à família *Meliaceae*, mesma do mogno, usou (DAP) e (HT) como impulsos para (RNAs) de arquitetura (2:10:1), obteve 0,95 de correlação e 10,20 de (RQEM) resultados inferiores a os do presente trabalho. Gorgens *et al.* (2009) estudando *Eucalyptus spp* e *Tectona grandis L.f.*, observou pouca melhoria estatística com o aumento do número de neurônios na camada oculta.

Um estudo com clones de eucalipto em Minas Gerais, Silva *et al.* (2014) utilizando as mesmas arquiteturas (2:1:1), (4:2:1) e (4:1:1), com (DAP), (HT) e diâmetros em diferentes alturas como variáveis de entrada nas (RNAs), apresenta estimativas de correlação com valores próximos as melhores (RNAs) aqui treinadas, variando o (RMSE) de 4 a 7%, sendo menor a variação do (RQEM) do presente trabalho de 1 a 3%.

Silva *et al.* (2015) utilizou arquitetura (12:2:1) e (13:2:1) para estimar volume de eucalipto a nível de povoamento, mesmo com maior quantidade e variedade de variáveis de entrada obteve valores de correlação semelhantes ao presente trabalho, com estimativas de (RMSE) maiores. Isso pode fortalecer a hipótese que redes com configurações simples são eficientes para estimar volume de árvores.

O trabalho de Silva *et al.* (2016), realizado no mesmo povoamento do presente trabalho no município de Pirapora Minas Gerais, utilizou equações para estimação de volume com os modelos de Schumacher e Hall e Spurr. Comparando os trabalhos, os resultados encontrados com as (RNA's) apresentaram estatísticas superiores, tanto para a etapa de treino como na validação.

As estatísticas do presente estudo, feito com mogno africano, são menores se comparados com resultados de trabalhos feitos com eucalipto (BINOTI *et al.*, 2014a; BINOTI *et al.*, 2014b) salientando que as (RNAs) foram treinadas com mais variáveis de

entrada e isso pode ter influenciado na melhoria dos resultados. Provavelmente os valores são menores devido a maior variabilidade dos dados. Esta pode ser explicada pelo estágio inferior de domesticação da espécie alvo deste estudo, quando comparada ao eucalipto. Isso faz com que a forma das árvores seja mais variável, resultando em maior variabilidade dos dados. Trabalhando com *Acacia mangium* no estado do Amapá, espécie com grau de domesticação mais próximo ao mogno do que o eucalipto, Cordeiro *et al.*, (2015) encontrou correlação de 0,9940 para a estimação do volume de árvores, valor muito próximo ao encontrado para o mogno africano. Tal fato reforça a hipótese de que o menor grau de domesticação da espécie (RIBEIRO *et al.*, 2017) possa ter aumentado a heterogeneidade dos dados impedindo a obtenção de estatísticas ainda melhores com os dados disponíveis.

Outra questão a ser levada em conta é a forma de propagação utilizada. Plantios seminiais, caso do presente estudo, tendem a ter maior heterogeneidade na forma das árvores, quando comparado a plantios clonais, caso dos trabalhos acima citados. Tal ocorrência também foi documentada em estudo com equações volumétricas para o mogno africano (SILVA *et al.*, 2016).

São bons os resultados estatísticos de (RQEM), correlação entre valores estimados e esperados (Tabela 4) e distribuição residual (Figura 3), obtidos com treinamento das (RNAs) utilizando diâmetros em diferentes alturas do fuste para estimação de *Khaya ivorensis*. As (RNAs) tem resultados estatísticos semelhantes com uma leve superioridade das redes 7 e 9 que tem distribuição residual sem tendência (Figura 3).

Tabela 4 - Redes Neurais Artificiais treinadas para estimação de volume com casca a partir da variável de entrada diâmetros em diferentes alturas do fuste (0,0; 0,3; 1,3; 2,0), para árvores de *Khaya ivorensis*

RNA	Arquitetura	Nº Ciclos	RQEM (m³)		Correlação	
			Treino	Validação	Treino	Validação
9	4-2-1	3000	0,0279	0,0217	0,9796	0,9817
8	4-2-1	3000	0,0285	0,0260	0,9809	0,9752
6	4-1-1	3000	0,0263	0,0288	0,9833	0,9702
10	4-2-1	3000	0,0255	0,0297	0,9797	0,9687
7	4-2-1	3000	0,0247	0,0324	0,9724	0,9626

As redes com dois neurônios na camada oculta foram as configurações que apresentaram melhores valores para raiz quadrada do erro médio e correlação, sendo a rede nove a melhor (Tabela 4). Entre as redes treinadas, a de número seis (Tabela 4) foi a única que apresentou bons resultados estatísticos com um neurônio na camada oculta, porém com distribuição de resíduos tendenciosa (Figura 3). Desta forma, o uso de dois neurônios na camada oculta foi melhor. Como são quatro diâmetros em diferentes alturas como variáveis de entrada (0,0; 0,3; 1,3; 2), o uso de até dois neurônios na camada oculta, conforme o sugerido por Cosenza *et al.*, (2015), gerou resultados superiores. Os treinamentos de RNA's com maior número de neurônios na camada oculta geraram resultados inferiores aos apresentados.

As redes 1,2 e 3 apresentaram uma pequena tendência para menores volumes, e as redes com melhor distribuição dos resíduos foram a 4 e 5 (Figura 2). Comparando com a

análise de resíduos de Silva *et al* (2016), a rede 4 apresenta distribuição mais uniforme em relação aos modelos volumétricos apresentados pelos autores.

A análise gráfica de resíduos para diâmetro em diferentes alturas (Figura 3) apresenta uma pequena tendência para as redes 6, 8 e 10, sendo que as redes 7 e 9 apresentam maior uniformidade na distribuição de resíduos.

Ao analisar estatisticamente e graficamente os dois modelos de RNA's utilizados para estimação volumétrica de *Khaya ivorensis*, a rede que apresentou os melhores resultados foi a rede 4 (Figura 2) treinada com (DAP) e (HT). O trabalho de Silva *et al.* (2009) com eucalipto utilizando como variável de entrada diâmetro 1,3m de altura (DAP) e altura total (HT), com configuração de arquitetura igual à do presente trabalho (2-1-1), recomendou (RNA's) para estimativa do volume de florestas plantadas.

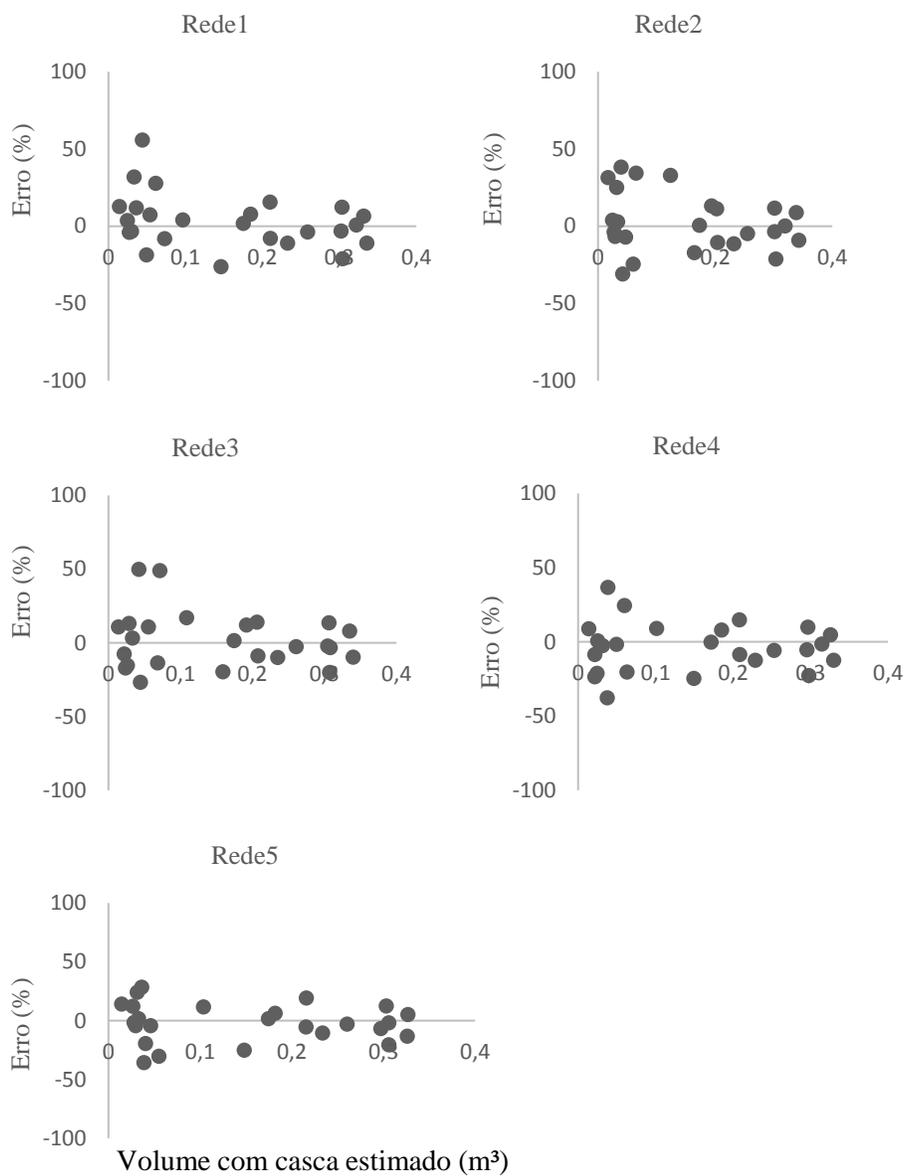


Figura 2 – Gráficos de dispersão de resíduos (eixo y: resíduo percentual) e (eixo x: volumes estimados) pelas redes neurais artificiais utilizando diâmetro a 1,3m metros de altura (DAP) e altura total (HT).

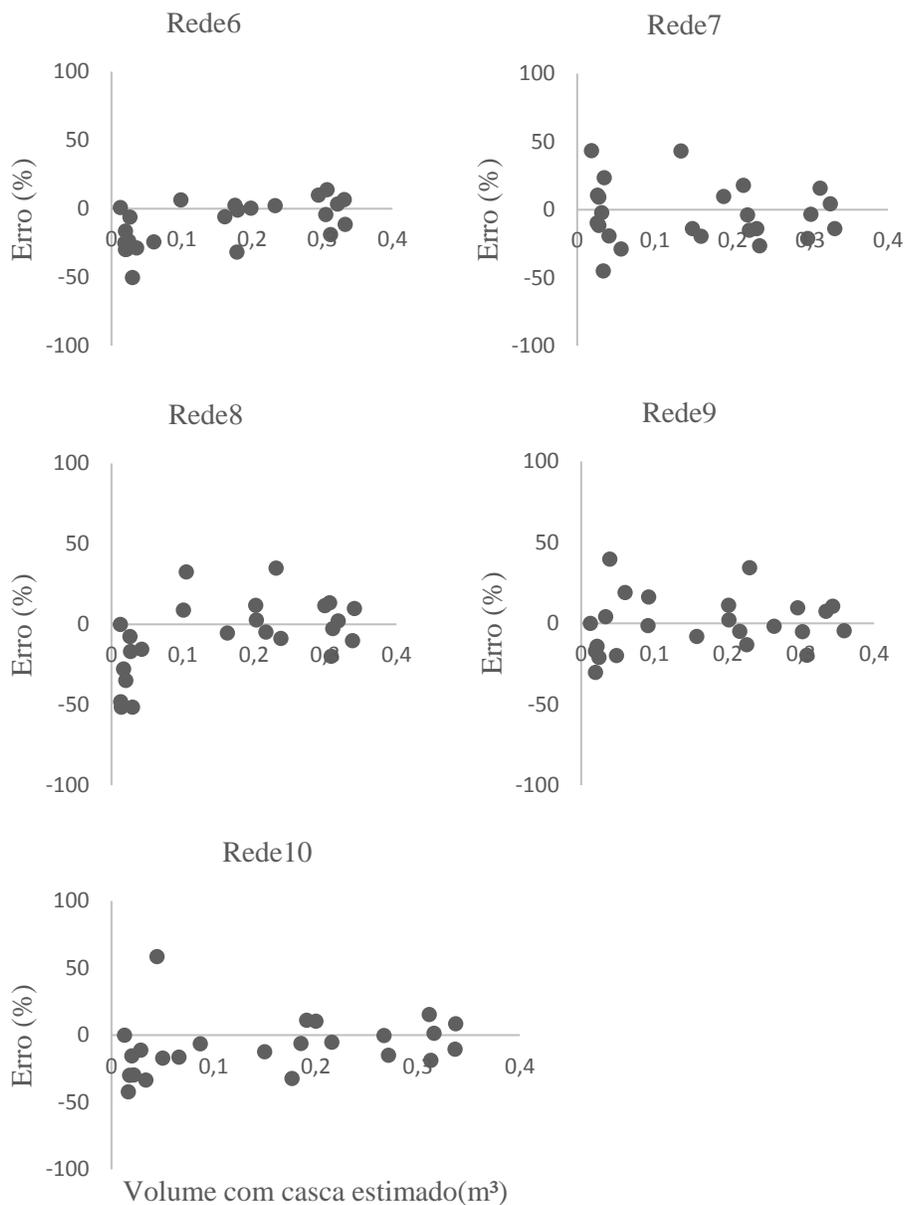


Figura 3. – Gráficos de dispersão de resíduos (eixo y: resíduo percentual) e (eixo x: volumes estimados) pelas redes neurais artificiais utilizando diâmetro a 0,0, 0,3, 1,3, 2,0 metros de altura.

Conclusão

O uso de Redes Neurais Artificiais é recomendado para a estimação do volume com casca de árvores da espécie *Khaya ivorensis*.

A estimação do volume com casca de árvores da espécie estudada é possível usando como variáveis de entrada o diâmetro à altura do peito e a altura total. O uso de diâmetros medidos em diferentes alturas da árvore (0; 0,3; 1,3 e 2 metros) constitui uma alternativa na estimação do volume com casca.

Agradecimentos

Aos dois revisores e editores pelos comentários e sugestões.

NETO, J. C. S.; RODRIGUES, M. S.; SOUZA, D. R.; LEITE, E. S.; SILVA, M. L.; REIS, L. P.; SILVA, L. F. Artificiais neurais networks in volume estimation with african mogno shell (*Khaya ivorensis*). *Revista Brasileira de Biometria*, Lavras, v.37, n.2, p.191-204, 2019.

- **ABSTRACT:** African mahogany has noble wood of high economic potential and extensive use in the furniture industry, civil construction and production of panels and laminates presenting good workability. In order to estimate the volume of individual trees in an African mahogany (*Khaya ivorensis*) stand in the municipality of Pirapora, Minas Gerais, Brazil, the objective of this study was to evaluate the use of Artificial Neural Networks (ANNs). Throughout the NeuroForest 4.0 software, 2400 networks were trained, with 60% separation of data for training and 40% for validation, with two different configurations of input signals, the first one using total height (HT) and the diameter at 1.3 m height (DAP); and the second using diameters at four different tree heights. The (ANNs) trained with (HT) and (DAP) obtained the best square root mean squared error (RMSE) statistical results, correlation between estimated and expected values and residual distribution. Thus, the use of Artificial Neural Networks in the estimation of volume with bark of (*Khaya ivorensis*) is efficient.
- **KEY WORDS:** ANN's, volumetric estimation, artificial intelligence.

Referências

BACHA, C. J. C.; BARROS, M. L. Reflorestamento no Brasil: evolução recente e perspectivas para o futuro. *Scientia Florestalis*, n.66, p.191-203, 2004.

BACHA, C. J. C. Análise da evolução do reflorestamento no Brasil. *Revista de Economia Agrícola*, São Paulo, v.55, n.2, p.5-24, 2008.

BARROS, L. A. G.; SILVA, P. F. R.; PANDOLFI, M. Viabilidade econômica da produção de mogno africano na região sudeste (*Khaya ivorensis*). In: SIMTEC – SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DA FATEC TAQUARITINGA, 3. 2015, Taquaritinga. *Anais...* Taquaritinga: FATEC simpósio, p.10, 2015.

- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores, *Ciência da Madeira*, v.5, n.1, p.58-67, 2014a.
- BINOTI, M. L. M. S. *Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto*. 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, B. H. D.; LEITE, H. G.; GARCIA, L. S. R.; FERREIRA, M. Z.; RODE, R.; SILVA, A. A. L. S. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. *Revista Árvore*, v.38, n.2, p.283-288, 2014b.
- BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, B. H. D.; GLERIANI, J. M. Prognose em nível de povoamento de clones de Eucalipto empregando Redes Neurais Artificiais. *CERNE*, Lavras, v.21, n.1, p.97-105, 2015.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Mensuração florestal: perguntas e respostas*. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 605p.
- CASAROLI, D.; ROSA, F. O.; JÚNIOR, J. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; BRITO, B. V.; PENA, D. S. Aptidão edafoclimática para o Mogno-Africano no Brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.28, n.1, p.357-368, 2018.
- CORDEIRO, M. A.; PEREIRA, N. N. J.; BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Estimativa do volume de *Acacia mangium* utilizando técnicas de redes neurais artificiais e máquinas vetor de suporte. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.35, n.83, p.255-261, 2015.
- COSENZA, D. N.; LEITE, H. G.; MARCATTI, G. E.; BINOTI, D. H. B.; ALCÂNTARA, A. E. M.; RODE, R. Classificação da capacidade produtiva de sítios florestais utilizando máquina de vetor de suporte e rede neural artificial. *Scientia Forestalis*, v. 43, n. 108, p. 955-963, 2015.
- DIAMANTOPOULOU, M. J. Artificial Neural Networks as an Alternative Tool in Pine Bark Volume Estimation. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.48, n.3, p.235-244, 2005.
- GASPAROTTO, L.; HANADA, R. E.; ALBUQUERQUE, F. C.; DUARTE, M. L. R. Mancha areolada causada por *Thanatephorus cucumeris* em mogno africano. *Fitopatologia Brasileira*, v.26, p.660-661, 2001.
- GOMES, D.M. *Análise de viabilidade técnica, econômico-financeiro para implantação da cultura do mogno-africano (Khaya ivorensis a chev) na região oeste de Minas Gerais*. 2010. 69f. Trabalho de Conclusão de curso (Especialização em Gestão Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; GLERIANI, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. *Revista Árvore*, Viçosa, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009
- HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. 2ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900p.
- JÚNIOR, M. A. I.; CALEGARIO, N.; POSSATO, E. L.; ALVES, J. A. Redes neurais artificiais e regressão linear para a estimativa do volume individual de *toona cillliata m*.

roem. In: CORTE, A. P. D.; SANQUETA, C. R.; RODRIGUES, A. L.; MACHADO, A. S.; PÉLLICO, S. N. O.; FIGUEIREDO, A. F. O.; NOGUEIRA, G. S. (ed.). *Atualidades em mensuração florestal*. (Ed.1) Curitiba: EMBRAPA; 2014. p.377-380.

KOVÁCS, Z. L. *Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações*. 2ed. São Paulo: Colledium cognitio, 1996. 174p.

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. Importância das variáveis altura dominante e altura total em equações hipsométricas e volumétricas. *Revista Árvore*, v.27, n.3, p.301-310, 2003.

LOPES, E. D.; UCHÔAS, E. G.; GOMES, J. M.; COLLARES, R. A. Desempenho inicial no campo de mogno africano implantado em área de pastagem na região semiárida do médio Vale do Jequitinhonha. In: SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA – FLORESTA, 2.; 2012, Montes Claros. *Anais...* Montes Claros: Universidade Federal de Minas Gerais; 2012. p.131-136.

LIMA, M. B. O.; JUNIOR, I. M. L.; OLIVEIRA, E. M.; FERREIRA, J. C. B.; SOARES, K. L.; MIGUEL, E. P. Artificial neural network in whole-stand level modeling of *Eucalyptus* plants. *African Journal of Agricultural*, V.12, p.524-534, 2017.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. *Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilizações dos mognos-africanos (Khaya spp.)*. 1ed. Viçosa: Editora UFV, 2011. 102p.

REIS, L. P.; SOUZA, A. L.; MAZZEI, L.; REIS, P. C. M.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; TORRES, C. M. M. E.; SILVA, L. F.; RUSCHEL, A. R. Prognosis on the diameter of individual trees on the eastern region of the amazon using artificial neural network. *Forest Ecology and Management*, v.382, p.161-167, 2016.

REIS, L. P.; SOUZA, A. L.; REIS, P. C. M.; MAZZEI, L.; SOARES, C. P. B.; TORRES, C. M. M. E.; SILVA, L. F.; RUSCHEL, A. R.; RÊGO, L. J. S.; LEITE, H. G. Estimation of mortality and survival of individual trees after harvesting wood using artificial neural network in the amazon rain forest. *Ecological Engineering*, v.112, p.140-147, 2018.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; SCOLFORO, J. R. S. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya spp.*) e o Crescimento da Atividade no Brasil. *Floresta Ambiente*, v.24, n.7, p.2179-8087, 2017.

SILVA, M. L. M.; BINOTI, D.H.B.; GLERIANI, J.M.; LEITE, G. H. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. *Revista Árvore*, v.33, n.6, p.1133-1139, 2009.

SILVA, L. F.; FERREIRA, G. L.; SANTOS, C. A.; LEITE, H. G.; SILVA, M. L. Equações Hipsométricas, Volumétricas e de Crescimento para *Khaya ivorensis* Plantada em Pirapora. *Floresta Ambiente*, v.23, n.3, p.362-368, 2016.

SILVA, P. V.; ARAÚJO, A. C. S. C.; MARTINS, E. R.; BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Estimação do volume de árvores de eucalipto utilizando redes neurais artificiais. CORTE, A. P. D.; SANQUETA, C. R.; RODRIGUES, A. L.; MACHADO, A. S.; PÉLLICO, S. N. O.; FIGUEIREDO, A. F. O.; NOGUEIRA, G. S. (ed.) *Atualidades em mensuração florestal*. Curitiba: EMBRAPA; 2014. p.84-87.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; CHAVES, A. G. S.; MEDEIROS, R. A.; SILVA, R. S.; SOUZA, H. S.; DRESCHER, R.; Leite, H.G. Estimativa da altura de árvores de *Tectona grandis* L.f. utilizando regressão e redes neurais artificiais. *Nativa*, v.5, p.52-58, 2017.

Recebido em 30.04.2018

Aprovado após revisão em 04.09.2018