

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA – UFRB
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS -CCAAB
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

JULIO CONCEIÇÃO DOS SANTOS NETO

REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA ESTIMAÇÃO DE VOLUME DE MOGNO
AFRICANO (*Khaya ivorensis*)

Cruz das Almas

2018

JULIO CONCEIÇÃO DOS SANTOS NETO

**REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA ESTIMAÇÃO DE VOLUME DE MOGNO
AFRICANO (*Khaya ivorensis*)**

Monografia apresentada à Universidade Federal do Recôncavo da Bahia como Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Florestal.

Orientador: Prof.º Dr.º Liniker Fernandes da Silva

Co-orientador: Prof.º Dr.º Deoclides Ricardo de Souza

Cruz das Almas

2018

JULIO CONCEIÇÃO DOS SANTOS NETO

**REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS NA ESTIMAÇÃO DE VOLUME DE MOGNO
AFRICANO (*Khaya ivorensis*)**

Trabalho de Conclusão de curso apresentada
à Universidade Federal do Recôncavo da
Bahia como requisito parcial para obtenção
do título de bacharel em Engenharia
Florestal.

Aprovado em: 21 de fevereiro de 2018

BANCA EXAMINADORA



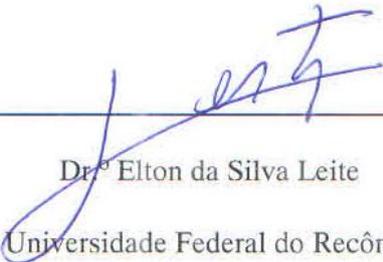
Dr.º Liniker Fernandes da Silva

Professor adjunto na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Dr.º Deoclides Ricardo de Souza

Professor associado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB



Dr.º Elton da Silva Leite

Professor adjunto na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB

Dedico este trabalho a Luzia Gomes conceição dos Santos e José Francisco Pereira dos Santos, pelo investimento nos meus estudos – sem o qual não poderia ter chegado aqui.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sorte força e determinação a mim concedida para enfrentar os desafios e superar minhas dificuldades ao longo desta jornada.

Ao professor Dr.º Liniker Fernandes da Silva, pela paciência, solicitude, otimismo, e atenção nas atividades para realização do trabalho.

A professora Dr.º Andreia da Silva Magaton, por ter contribuído para minha formação profissional.

A os amigos que consegui nas alegrias e dificuldades: Everaldo Pereira, Lucas Ramos, Lucas Cardoso, Luise Tores, Nidia Lima, Sandra Conceição, Lucas Amorim, Luciana Lima.

E por fim agradeço a todos os professores, técnicos e terceirizados que trabalharam na UFRB para fazer possível esse sonho.

Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele confiarei...
Mil cairão ao teu lado, e dez mil à tua direita,
mas não chegará a ti.

(Salmo 91)

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 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 realizado o treinamento de 540 redes para seleção de algoritmo com separação dos dados de 60% para treinamento e 40% para validação, configuradas com: variáveis de entrada altura total (Ht), diâmetro a 1,3 m (DAP) e diâmetros em diferentes alturas do fuste (0,0; 0,3; 1,3; 2,0), a saída foi volume, na arquitetura utilizou-se uma camada oculta, a função de ativação usada foi a sigmoideal e o critério de parada foi de 3000 ciclos. O algoritmo com melhor correlação e raiz quadrada do erro médio para treino e validação, foi usado no treinamento de 1500 RNA's com as mesmas configurações acima citadas, variando o número de ciclos. As redes que apresentaram melhores resultados foram as treinadas com variável de entrada diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura total (Ht), recomendada a povoamentos maiores. O uso de Redes Neurais Artificiais para estimação de volume em *Khaya ivorensis*, tendo como variáveis de entrada diâmetro em diferentes alturas pode ser utilizada em menores povoamentos, dispensando a medição de altura das árvores.

Palavras-chave: *Khaya ivorensis*, RNAs, Estimação Volumétrica.

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, the objective of this work was to evaluate the use of Artificial Neural Networks in Brazil. Through the NeuroForest 4.0 software, training of 540 nets was performed for selection of algorithm with data separation of 60% for training and 40% for validation, configured with: input variables total height (Ht), diameter at 1.3 m (DAP) and diameters at different heights (0.0, 0.3, 1.3, 2.0), the output was volume, in the architecture was used a hidden layer, the activation function used was the sigmoidal and the stopping criterion was 3000 cycles. The algorithm with better correlation and square root mean error for training and validation was used to train 1500 RNAs with the same configurations mentioned above, varying the number of cycles. The networks that presented the best results were those trained with input variable diameter 1.3 m from soil (DBH) and total height (Ht), recommended to larger stands, training of Artificial Neural Networks for volume estimation in *Khaya ivorensis*, from the input variable diameter at different heights can be used in smaller stands by dispensing the height measurement of the trees.

Keywords: *Khaya ivorensis*, RNAs, Volumetric Estimation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Arquitetura de uma rede neural artificial.....	14
Figura 2. Gráficos de dispersão de resíduos, utilizando diâmetro a 1,3m metros do solo (DAP) e altura total (Ht) como variável de entrada.....	18
Figura 3. Gráficos de dispersão de resíduos, utilizando diâmetro a 0.0, 0.3, 1.3, 2 metros do solo.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição dos diâmetros e alturas máximo, mínimo e médio	13
Tabela 2. Medidas usadas como entrada nas Redes Neurais Artificiais.....	14
Tabela 3. Resultados estatísticos obtidos com treinamento das Redes Neurais Artificiais utilizando como variável de entrada altura total (Ht) e diâmetro a 1,3 m do solo (DAP)	16
Tabela 4. Resultados estatísticos obtidos com treinamento das Redes Neurais Artificiais utilizando como variável de entrada diâmetros em diferentes alturas do fuste.....	18

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
MATERIAL E METODOS.....	2
Dados.....	2
Redes Neurais Artificiais.....	3
Treinamento das Redes Neurais Artificiais.....	3
Avaliação das Redes Neurais Artificiais.....	4
RESULTAOS E DISCURSÃO	5
CONCLUSÃO	10
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	11

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; Ribeiro et al., 2017). Em termos silviculturas e de produção das espécies arbóreas o Brasil é referência no mundo, isso 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 tem altura variando de 30 a 35 metros, chegando a 60 metros, com o tronco de até 2 metros de diâmetro podendo apresentar sapopemas na base, para sustentação, as folhas são parepinadas, decíduas e verde claro ou mais escuro. 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).

Sua introdução 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 longo prazo, apresentando viabilidade econômica e financeira tornando-se lucrativo a partir do 8 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, apresentando um crescimento nos primeiros 12 meses de vida de 3,9 cm de DAP e 3,0 m em altura (Lopes et al., 2012). Sendo uma cultura ainda carente de informações referentes ao seu manejo no Brasil, são de suma importância para o estabelecimento da espécie no país os trabalhos realizados com ajuste de equações como o de Silva et al (2016), e a busca de técnicas que visam facilitar o trabalho de campo e processamento para estimação volumétrica, como as Redes Neurais Artificiais.

A utilização das RNAs para estimação da produção florestal pode apresentar melhores resultados em relação aos obtidos com modelos de regressão devido a algumas características: 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, (Bullinaria, 2009).

Em vista do exposto acima, o presente trabalho teve como objetivo 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, Brasil.

MATERIAL E METODOS

Dados

Os dados utilizados para o presente trabalho foram coletados na forma de inventario florestal de um plantio de *Khaya ivorensis* (Mogno-africano) da empresa Mahogany, no município de Pirapora Minas Gerais (latitude 17°21'55 S e longitude 44°56'59 W) na Mesorregião Norte de clima Aw (Sá et al., 2012). O plantio é seminal, de idade entre 30 e 47 meses, com espaçamento de 4 × 3 metros em Latossolo Vermelho distrófico.

Foram cubadas utilizando método de Smalian (Campos & Leite, 2013) 25 árvores com idade de 30 e 47 meses. Com auxílio de um Critérion RD 1000, foram tomadas medidas de circunferência em diferentes alturas (0; 0,3; 1,3; 2,0).

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.

Dados	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio Padrão
DAP	6,81 cm	16,14 cm	24,03 cm	5.49 cm
HT	6,7 m	11,9 m	21,4 m	3.84 m

Redes Neurais Artificiais

A arquitetura básica das RNAs é composta por uma camada de entrada, uma camada de associação e uma camada de saída (Figura 1). (Binoti et al. 2010).

No processamento: sinais $X_1, X_2 \dots X_n$ foram apresentados à camada de entrada $W_1, W_2 \dots W_n$ e multiplicados por um peso que demonstra a influência do mesmo na saída passando por uma função de ativação que processa o sinal gerado pela combinação linear das entradas e dos pesos das sinapses, gerando o sinal de saída do neurônio.

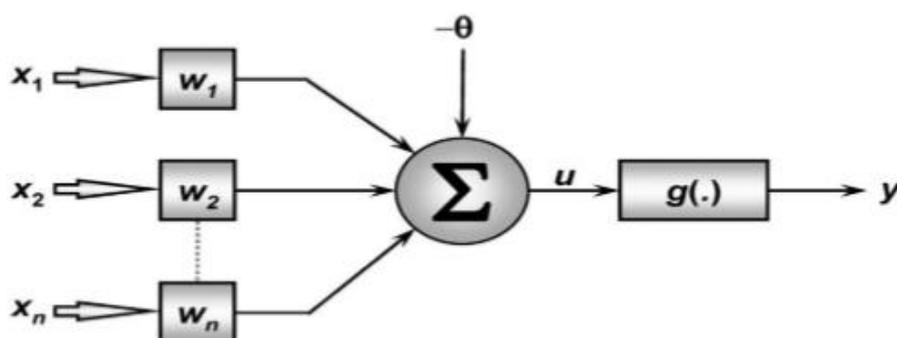


Figura 1 – arquitetura de rede neural artificial segundo Mcculloch e Pitts (Bullinaria, 2008).

Treinamento das Redes Neurais Artificiais

Para o presente trabalho os dados de entrada e saída estão expostos na Tabela 2. Tabela 2. Medidas 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 (m ³)
D0; D0,3; DAP; D2 (cm)	Volume (m ³)

Por meio do software NeuroForest 4.0 foi realizado o treinamento de 30 redes neurais para cada um dos 18 algoritmos disponíveis no programa totalizando 540 redes treinadas, as configurações para treinamento foram: amostragem aleatória com porcentagem de 60% para treino e 40% para validação, as variáveis de entrada foram

altura total (Ht) , diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e diâmetro em diferentes alturas do fuste (0.0, 0.3, 1.3, 2.0), a saída foi volume (Tabela 2).

Na arquitetura utilizou-se um e dois neurônios na camada oculta segundo recomendação de (Cosenza et al., 2015), a função de ativação usada foi a sigmoideal e o critério de parada foi a realização de 3000 ciclos para que a rede conseguisse “aprender” o comportamento dos dados de treinamento. O algoritmo com os melhores resultados estatísticos de correlação e erro quadrático médio para treino e validação, foi usado no treinamento de 1500 RNA’s com as mesmas configurações acima citadas, variando o número de ciclos.

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:

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

Em que:

S^2 - variância;

cov - covariância;

y - volume futuro observado;

\hat{y} - volume futuro estimado.

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

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

Em que:

n - valor total dos dados

y - volume futuro observado;

\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:

$$\text{erro (\%)} = 100 \times \frac{(\hat{y}-y)}{y} \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As cinco melhores RNA's que têm como variável de saída o volume (m³) e variáveis de entrada DAP e altura total, estiveram, na etapa de treino, raiz quadrada do erro médio (RQEM) em intervalos entre 0,0129 e 0,0199. Já para a etapa de validação os valores ficaram entre 0,0327 e 0,0380. Os valores de correlação estiveram, na etapa de treino, entre 0,9886 e 0,9932, enquanto na etapa de validação os valores obtidos ficaram entre 0,9806 e 0,9827 (Tabela 3).

Tabela 3. Redes Neurais Artificiais treinadas para estimação de volume a partir da variável de entrada altura total (Ht) e diâmetro a 1,3 m do solo (DAP), para árvores de *Khaya ivorensis*, dispostas da melhor para pior

RNA	Arquitetura	N° Ciclos	RQEM (m ³)		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

Analisando a arquitetura utilizada (2-1-1) no presente trabalho usando duas variáveis de entrada (DAP) e (Ht), um neurônio na camada oculta para obter o volume de árvores, em estudo de configuração de treinamento (RNAs) para estimação do volume de Eucalipto (Binoti et al., 2014) mesmo utilizando um maior número de variáveis de entrada, também obteve valores satisfatórios com 1 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 (RNAs) 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: o problema de aprendizagem insuficiente acontece quando o número de ciclos é baixo não dando tempo para a rede obter os resultados esperados, já o problema de memorização é quando o número de ciclos é alto, assim a rede pode (decorar) os dados e diminuir a condição de generalização dos dados (Bullinaria, 2014).

O estudo de Silva et al (2016) realizado no mesmo povoamento do presente trabalho no município de Pirapora Minas Gerais, utilizou equações hipsométricas para estimação de volume com os modelos volumétricos de (SCHUMACHER; HALL) e (SPURR). Comparando os trabalhos, os resultados são ligeiramente superiores, para as etapas de treino e validação.

A análise gráfica de resíduos das cinco melhores (RNAs) está apresentado na (Figura 2). Entre as cinco melhores (RNAs) as redes 1,2 e 3 apresentaram uma pequena tendência para menores volumes, as redes mais bem distribuídas graficamente foram as 4 e 5. Comparando com a análise de resíduos de Silva et al (2016) a rede quatro apresenta distribuição mais uniforme em relação aos modelos volumétricos.

Foram bons os resultados estatísticos e distribuição de resíduos obtidos com as diferentes variáveis de entrada para estimação de volume de *Khaya ivorensis*, utilizando redes neurais artificiais. Em povoamentos menores onde o pequeno produtor rural não dispõe de equipamento para medição de altura das arvores e deseja saber as estimativas volumétricas de uma determinada floresta ele pode utilizar redes neurais com variável de entrada diâmetro em diferentes alturas. Em povoamentos maiores o uso de redes neurais artificiais com diâmetro a 1,3 m do solo e altura total (Ht) é o mais indicado.

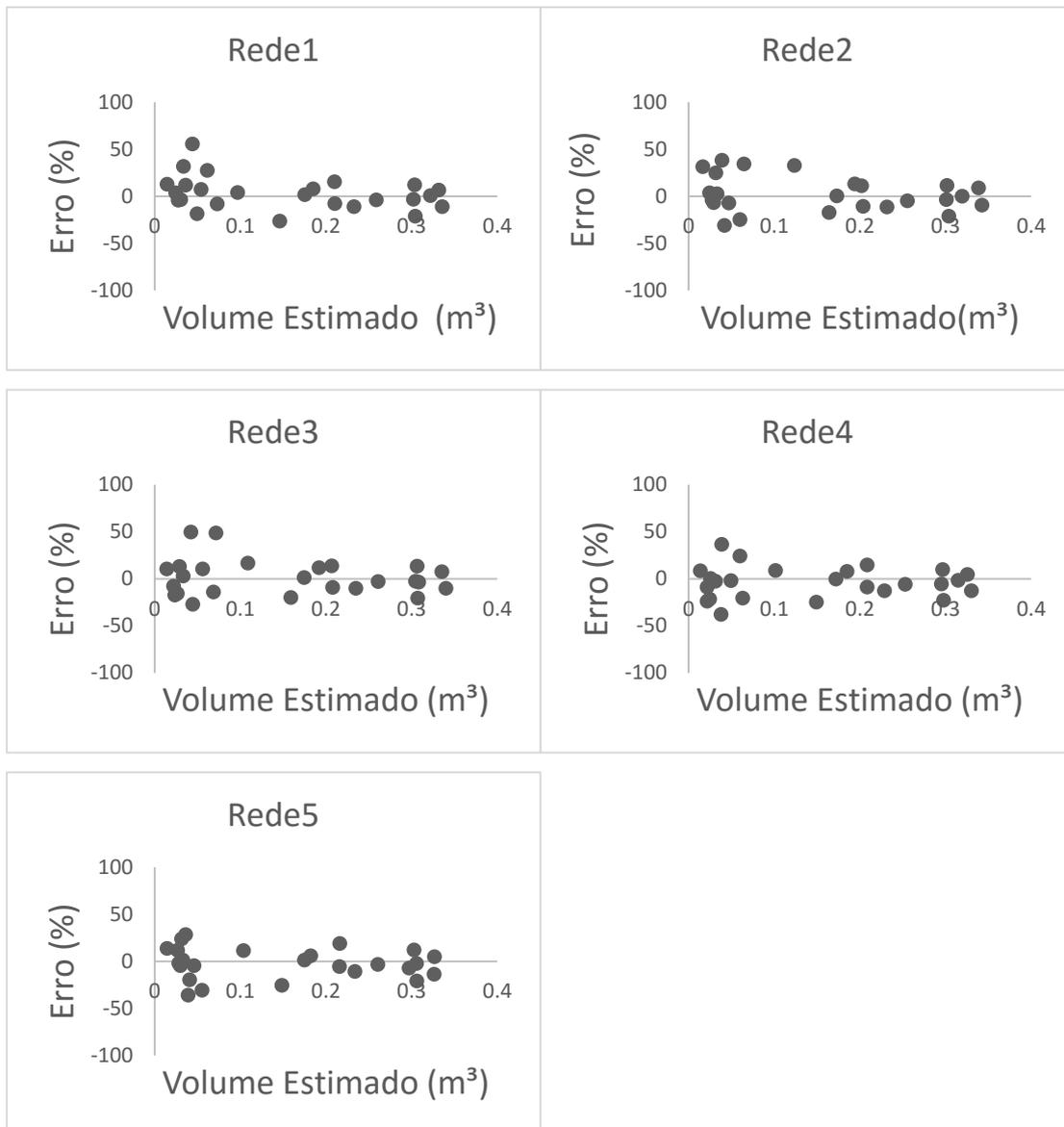


Figura 2 – Gráficos de dispersão de resíduos (eixo y: resíduo percentual) e (eixo x: volumes estimados) pelas redes neurais artificiais utilizando diâmetro a 1,3m metros do solo (DAP) e altura total (Ht).

As cinco melhores RNA's que têm como variável de saída o volume (m^3) e variáveis de entrada o diâmetro em diferentes alturas (0,0; 0,3; 1,0; 1,3; 2,0 m) tiveram, na etapa de treino, raiz quadrada do erro médio (RQEM) em intervalos entre 0,0247 e 0,0285. Já para a etapa de validação os valores ficaram entre 0,0217 e 0,0324. Os valores de correlação estiveram, na etapa de treino, entre 0,9724 e 0,9833, enquanto na etapa de validação os valores obtidos foram entre 0,9626 e 0,9817 (Tabela 4).

Tabela 4. Redes Neurais Artificiais treinadas para estimação de volume 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	N° Ciclos	RQEM (m ³)		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 muitas redes treinadas a rede seis (Tabela 4), foi a única rede que apresentou bons resultados estatísticos porém com distribuição de resíduos tendenciosa então o uso de dois neurônios na camada oculta é melhor. Como são quatro alturas como variável de entrada (0,0; 0,3; 1,3; 2), utilizou-se recomendação do uso de até dois neurônios na camada oculta (Cosenza et al., 2015).

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 melhor uniformidade na distribuição de resíduos.

Analisando estatisticamente e graficamente as duas variáveis de entrada diâmetro a 1,3m do solo (DAP), altura total (Ht) e (diâmetros e diferentes alturas do fuste) 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 do solo (DAP) e altura total (Ht), com configuração de arquitetura igual à do presente trabalho (2-1-1), recomendou (RNAs) para previsões volumétricas de florestas plantadas.

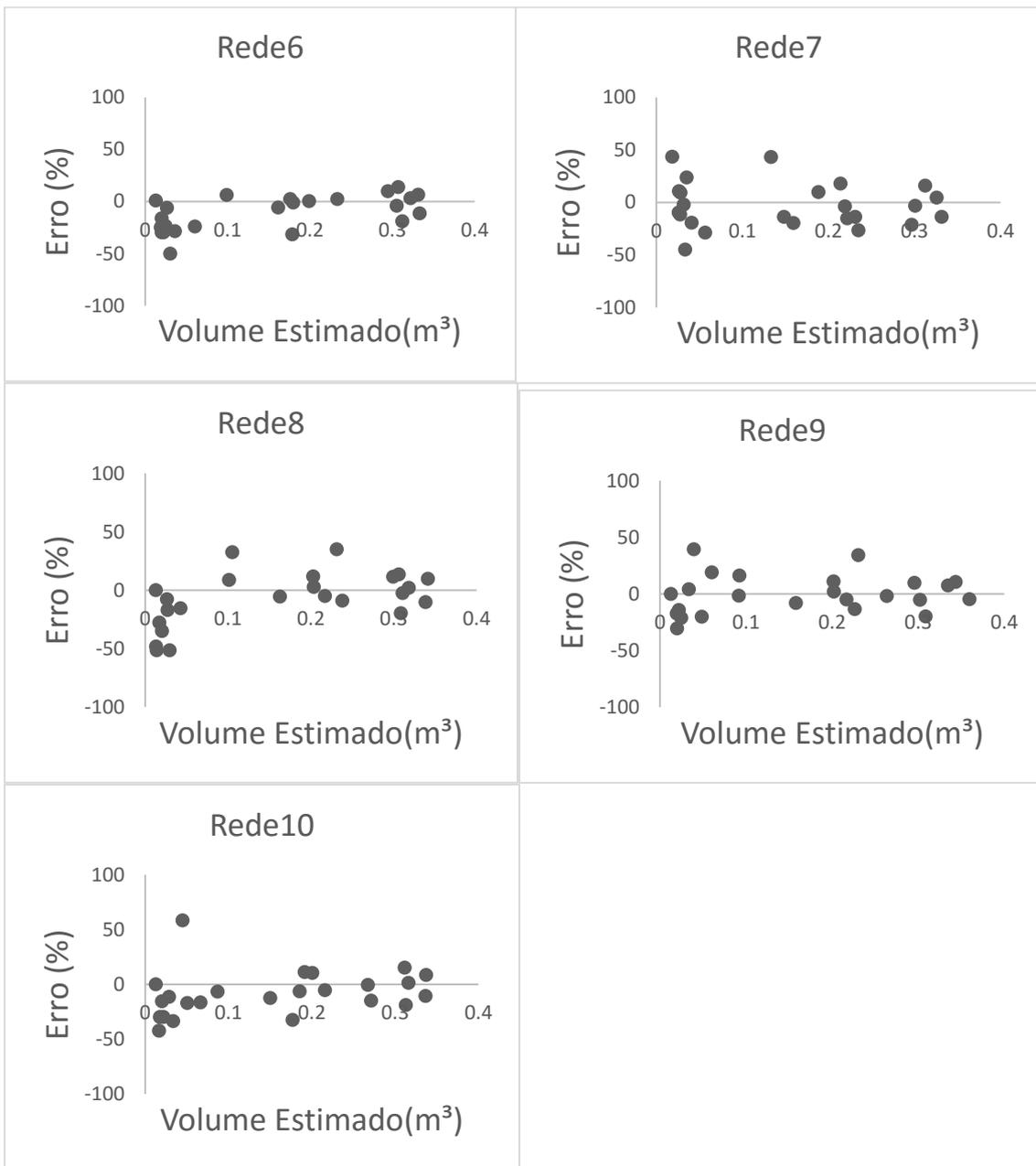


Figura 3. – Gráficos de dispersão de resíduos (eixo y: resíduo percentual) e (eixo x: volumes estimados) pelas redes neurais artificiais utilizando diâmetro a 0,0, 0,3, 1,3, 2 metros do solo.

CONCLUSÃO

As redes que apresentaram melhores resultados foram as treinadas com variável de entrada diâmetro a 1,3 m do solo (DAP) e altura total (Ht), podendo ser indicadas para estimação volumétrica de *Khaya ivorensis*, em povoamentos maiores.

O treinamento de Redes Neurais Artificiais para estimação de volume em *Khaya ivorensis*, utilizando como variável de entrada diâmetro em alturas diferentes pode ser utilizado em pequenos povoamentos dispensando a medição de altura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, L. A. G. de; SILVA, P. F. R.; PANDOLFI, M. Viabilidade econômica da produção de mogno africano na região sudeste (*Khaya ivorensisi*). In: III SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC, 2015, Taquaritinga. **Anais...** Taquaritinga: FATEC simpósio, 10 p. 2015.

BULLINARIA, J.A. **Introduction to neural computation**. Notas de aula. 2008. Disponível em:< <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html>>. Acesso em 23/08/2017 as 08:58.

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, B. H. D; BINOTI, S. M. L. M; LEITE, G. H. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de arvores, **Ciência da Madeira**, v. 05, n. 01, p. 58-67, 2014.

BINOTI, S. M. L. M; BINOTI, B. H. D; LEITE, G. H; GARCIA, R. L. S; FERREIRA, Z. M; RODE, R; SILVA, L. A. A. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Rev. Árvore**, v. 38, n. 2, p. 283-288, 2014.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3ª. ed. Viçosa: Editora UFV, 2013. 605p.

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.

GOMES, D. **Análise de viabilidade técnica, econômico-financeiro para implantação da cultura do mogno-africano (*Khaya ivorensis a chev*) na região oeste de Minas Gerais**. 2010, 69pg. Trabalho de Conclusão de curso (Especialização em Gestão Florestal) –, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2010.

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.

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 semi-árida do médio Vale do Jequitinhonha. In: II Simpósio de Integração LavouraPecuária-Floresta; 2012; Montes Claros. **Anais...** Montes Claros: Universidade Federal de Minas Gerais; 2012. p. 131-136.

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

RIBEIRO, Andressa; FERRAZ FILHO, Antonio Carlos; SCOLFORO, José Roberto Soares. O Cultivo do Mogno Africano (Khaya spp.) e o Crescimento da Atividade no Brasil. **Floresta Ambiente**, v. 24, n. 7, p. 2179-8087, 2017.

Sá A Jr, Carvalho LG, Silva FF, Alves MC. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 2012; 108(1-2): 1-7. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-011-0507-8>.

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

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

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