

REDES NEURAS ARTIFICIAIS PARA ESTIMAÇÃO DO VOLUME DE ÁRVORES¹

Mayra Luiza Marques da Silva Binoti², Daniel Henrique Breda Binoti³, Hélio Garcia Leite⁴, Silvana Lages Ribeiro Garcia⁵, Maria Zelia Ferreira⁶, Rafael Rode³ e Antonilmar Araújo Lopes da Silva⁷

RESUMO – Objetivou-se propor neste estudo uma metodologia com a utilização de Redes Neurais Artificiais (RNA), para redução do número de árvores a serem cubadas durante o processo de geração de equações volumétricas. Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de cubagens de 2.700 árvores de povoamentos clonais de eucalipto localizados no Sul da Bahia. O treinamento das RNA foi feito visando à obtenção de redes para a estimação do volume com e sem casca. Como variáveis de entrada, utilizaram-se o diâmetro à altura do peito - 1,30 m (*dap*), a altura e os diâmetros nas posições de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; e 4,0 m do solo e os volumes obtidos até 2 e 4 m. A precisão do método foi feita com a aplicação do teste L&O. Avaliaram-se também a dispersão dos erros percentuais, o histograma de frequência dos erros percentuais e a raiz do erro quadrático médio (RMSE). A metodologia proposta neste estudo mostrou-se eficiente para a estimação do volume de árvores, sendo indicada para a obtenção do volume total com e sem casca de povoamentos de eucalipto, possibilitando a redução dos custos para a construção de equações volumétricas.

Palavras-chave: Cubagem rigorosa; Inventário florestal; Mensuração florestal.

NEURAL NETWORKS FOR ESTIMATING OF THE VOLUME OF TREES

ABSTRACT – *The objective of this study was to propose a methodology by using Artificial Neural Networks (ANN) to reduce the number of trees to be scaled during the process of generating volumetric equations. The data used in this study were originated from measurements of 2,700 trees of clonal eucalyptus plantations located in southern Bahia State, Brazil. The training of ANN was performed in order to obtain networks for estimating the volume with and without bark. As input variables, we used the diameter at breast height (dbh) - 1.30 m, height, and diameter at 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 4.0 m above the ground and the volumes obtained until 2 and 4 m. The accuracy of the method was carried out using the test L & O. We also evaluated the dispersion of percentage errors, frequency histogram of the percentage error and the root mean square error (RMSE). The methodology proposed in this study proved to be efficient for estimating the volume of trees, and is indicated to obtain the total volume with and without bark of eucalyptus, enabling the reduction of costs for the construction of volumetric equations.*

Keywords: Scaling; Forest inventory; Forest measurement.

¹ Recebido em 09.11.2010 aceito para publicação em 27.02.2014.

² Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. E-mail: <mayrabinoti@gmail.com>.

³ Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. E-mail: <danielhbbinoti@gmail.com> e <rafaelrode@gmail.com>.

⁴ Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil. E-mail: <hglete@gmail.com>.

⁵ Faculdade de Viçosa, FDV, Brasil. E-mail: <garciaslr@yahoo.com.br>.

⁶ Veracel Celulose S/A. E-mail: <maria.zelia@veracel.com.br>.

⁷ Celulose Nipo-Brasileira S/A – Cenibra. E-mail: <antonilmar.silva@cenibra.com.br>.

1. INTRODUÇÃO

O manejo florestal sustentável requer estimativas precisas de estoque de crescimento. Essas informações auxiliam a tomada de decisão pelos gestores florestais na análise econômica dos projetos florestais, bem como na geração e confecção de planos de manejo. O estoque de crescimento é frequentemente expresso em termos de volume de madeira, que pode ser facilmente estimada a partir de dimensões das árvores facilmente mensuráveis no campo. O procedimento mais comum é a utilização de equações de volume com base nas relações entre volume e variáveis, como o diâmetro e a altura (AKINDELE; LEMAY, 2006).

Para obtenção de estimativas confiáveis, devem-se utilizar equações compatíveis com a variação da população a ser inventariada. Nos plantios de eucalipto, o ideal é a utilização de equações específicas por clone ou espécie, espaçamento, classe de idade e regime de corte. Para obtenção das informações para o ajuste dos modelos, aconselha-se a cubagem de 100 a 150 árvores por estrato; tal operação pode acarretar um custo relativamente alto (OLIVEIRA et al., 2009; CAMPOS; LEITE, 2009).

Diversas funções de Taper, equações e métodos para estimação volumétrica e a forma das árvores já foram propostas (BEHRE, 1923; KOZAK et al., 1969; DEMAERSCHALK, 1972; ORMEROD, 1973; MAX; BURKHART, 1976; DEMAERSCHALK; KOZAK, 1977; HILT, 1980; CAO et al., 1980; CLARK ET AL., 1991; OLIVEIRA et al., 2009; CAMPOS, LEITE, 2009). Contudo, a proposta de inclusão de novas metodologias ou modelos que estimem o estoque volumétrico ainda é necessária em função dos custos que essa etapa representa para o inventário florestal, bem como a importância desta na exatidão das estimativas volumétricas. Novas ferramentas têm sido introduzidas na área florestal com o intuito de aumentar a precisão das estimativas e diminuir os custos, e entre elas se destacam os modelos de Redes Neurais Artificiais (RNA) (SILVA, 2008; GÖRGENS et al., 2009; LEITE et al., 2010).

Diversos modelos de regressão linear e não linear foram investigados para a estimação do volume de povoamentos florestais (CAMPOS; LEITE, 2009). Contudo, alguns modelos e situações podem apresentar tendências e níveis de erro inaceitáveis para os objetivos do manejo florestal. Os modelos de RNA estão se tornando ferramenta de estimação muito popular,

pois não necessitam de suposições sobre as relações entre as variáveis utilizadas no ajuste. Em vez disso, a rede é treinada e se encarrega de modelar as relações lineares e não lineares. Diversos estudos comprovam a eficiência da aplicação de RNA na área florestal (GUAN; GERTNER, 1991; SCHMOLDT et al., 1997; BLACKARD; DEAN, 1999; BLACKARD; DEAN, 1999; ZHANG et al., 2000; ZHANG et al., 2000; LEDUC et al., 2001; LIU et al., 2003; LIU et al., 2003; CORNE et al., 2004; DIAMANTOPOULOU, 2005; AVRAMIDIS et al., 2006; GÖRGENS et al., 2009; LEITE et al., 2010).

Em razão do elevado custo de cubagem de árvores nas empresas florestais, objetivou-se propor neste estudo uma metodologia com a utilização de RNA, para redução do número de árvores a serem cubadas durante o processo de geração de equações volumétricas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Dados

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes de cubagens de 2.700 árvores de povoamentos clonais de eucalipto localizados no Sul da Bahia. As variáveis utilizadas para estimar o volume total com e sem casca das árvores foram: diâmetro com casca a 1,30 m do solo (dap) (cm) e altura total (m). Os diâmetros ao longo do fuste foram medidos nas posições de 0,10; 0,5; 1,0; 1,50; e 2,0 m, e a partir desse ponto as seções foram medidas de 2,0 em 2,0 m até o topo da árvore.

Treinamento e avaliação das RNA

O treinamento das RNA foi feito visando à obtenção de redes para estimação do volume com e sem casca. Como variáveis de entrada, utilizaram-se o dap, a altura e os diâmetros nas posições de 0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; e 4,0 m do solo e os volumes obtidos até 2 e 4 m. O clone foi utilizado como variável categórica, representada pelo nome do clone (C1 a C15). Testaram-se duas combinações de variáveis de entrada que diferiam pela utilização do volume e do diâmetro a 4 m de altura.

Os dados foram divididos aleatoriamente em duas partes: 80% para treinamento das redes e 20% para generalização, ou seja, aplicar as redes treinadas aos dados não utilizados no treinamento para validação. Para obter as redes neurais artificiais, utilizou-se o software Statistica 7 (STATSOFT; INC, 2007). As redes treinadas foram do tipo perceptrons de múltiplas camadas, comumente conhecidas como Multilayer Perceptron (MLP).

As melhores RNA foram selecionadas com base na correlação entre o volume observado e o volume estimado pelas redes (r_{vv}) e na estabilidade dos índices de treinamento das redes fornecidos pelo software, nas fases de treinamento (criação da RNA), de seleção (parada do treinamento) e de avaliação (aplicação de um conjunto de dados não utilizados no treinamento).

As redes selecionadas foram aplicadas aos dados separados para generalização. Os valores estimados e observados foram comparados pelo procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002) (L&O). Avaliaram-se também a dispersão dos erros percentuais, histograma de frequência dos erros percentuais e a raiz do erro quadrático médio (RMSE) (MEHTÄTALO et al., 2006):

$$RMSE(\%) = \frac{100}{\bar{V}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V}_i)^2}{n}}$$

em que \bar{V} é a média dos volumes totais observados e n , o número total de observações.

3. RESULTADOS

A descrição das RNA obtidas e as estatísticas obtidas durante o treinamento e a generalização são apresentadas na Tabela 1. Na Figura 1 são apresentadas a análise gráfica de resíduos e a dispersão entre valores observados e estimados.

As estatísticas utilizadas pelo procedimento estatístico L&O ($\alpha = 5\%$) são apresentados na Tabela 2.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo propor uma metodologia com foco principal na redução das medições de diâmetro ao longo do fuste das árvores, possibilitando a cubagem das árvores em pé ao invés de derrubá-las, mantendo os níveis de precisão aceitáveis para os propósitos de quantificação de estoques de crescimento em povoamentos florestais.

A amostragem para geração de equações volumétricas em florestas equiâneas é normalmente feita por espécie, espaçamento, classe de idade e regime de corte (CAMPOS; LEITE, 2009). Na prática, quanto maior o número de estratos, maior a precisão, porém maior é o custo de amostragem. Em alguns casos, o número ideal de árvores-amostra para ajuste de um modelo volumétrico pode chegar a 100 ou 150 árvores (GUIMARÃES et al., 1996). Sem situações práticas, essa tarefa pode tornar-se inviável pela inúmera quantidade de estratos que podem ser formados (OLIVEIRA et al., 2009).

A utilização de métodos de amostragem que exigem menos medições de diâmetro ao longo do fuste pode reduzir o custo, mas isso só é aceitável se a confiabilidade das estimativas não sofrer interferência (WIANT et al., 1996). O modelo proposto exige somente a medição de posições da árvore que são facilmente mensuráveis em campo, sem a derrubada das árvores. Necessita-se apenas da cubagem de algumas árvores quando há a introdução de novos clones, ou em situações não amostradas.

Tabela 1 – Características das redes neurais artificiais e estatísticas das estimativas do volume total de árvores.
Table 1 – Characteristics of artificial neural networks and statistical of the estimated total volume of trees.

RNA	Arquitetura	Variáveis de entrada	Variável de saída	r_{vv}	Treinamento			Generalização	
					Índice do treino	Índice da seleção	Índice da avaliação	r_{vv}	RMSE %
1	25-2-1	Clone, dcc0.0, dcc0.5, dcc1.0, dcc1.5, dcc2.0, dcc4.0, DAP, HT,vcc2, vcc4	VTCC	0,9982	0,06	0,06	0,06	0,9979	4,18
2	23-3-1	Clone, dcc0.0, dcc0.5, dcc1.0, dcc1.5, dcc2.0, DAP, HT,vcc2	VTCC	0,9973	0,07	0,08	0,07	0,9973	4,75
3	25-2-1	Clone, dsc0.0, dsc0.5, dsc1.0, dsc1.5, dsc2.0, dsc4.0, DAP, HT,vsc2, vsc4	VTSC	0,9979	0,06	0,07	0,07	0,9976	4,41
4	23-2-1	Clone, dsc0.0, dsc0.5, dsc1.0, dsc1.5, dsc2.0, DAP, HT,vsc2	VTSC	0,9968	0,081	0,079	0,076	0,9967	5,15

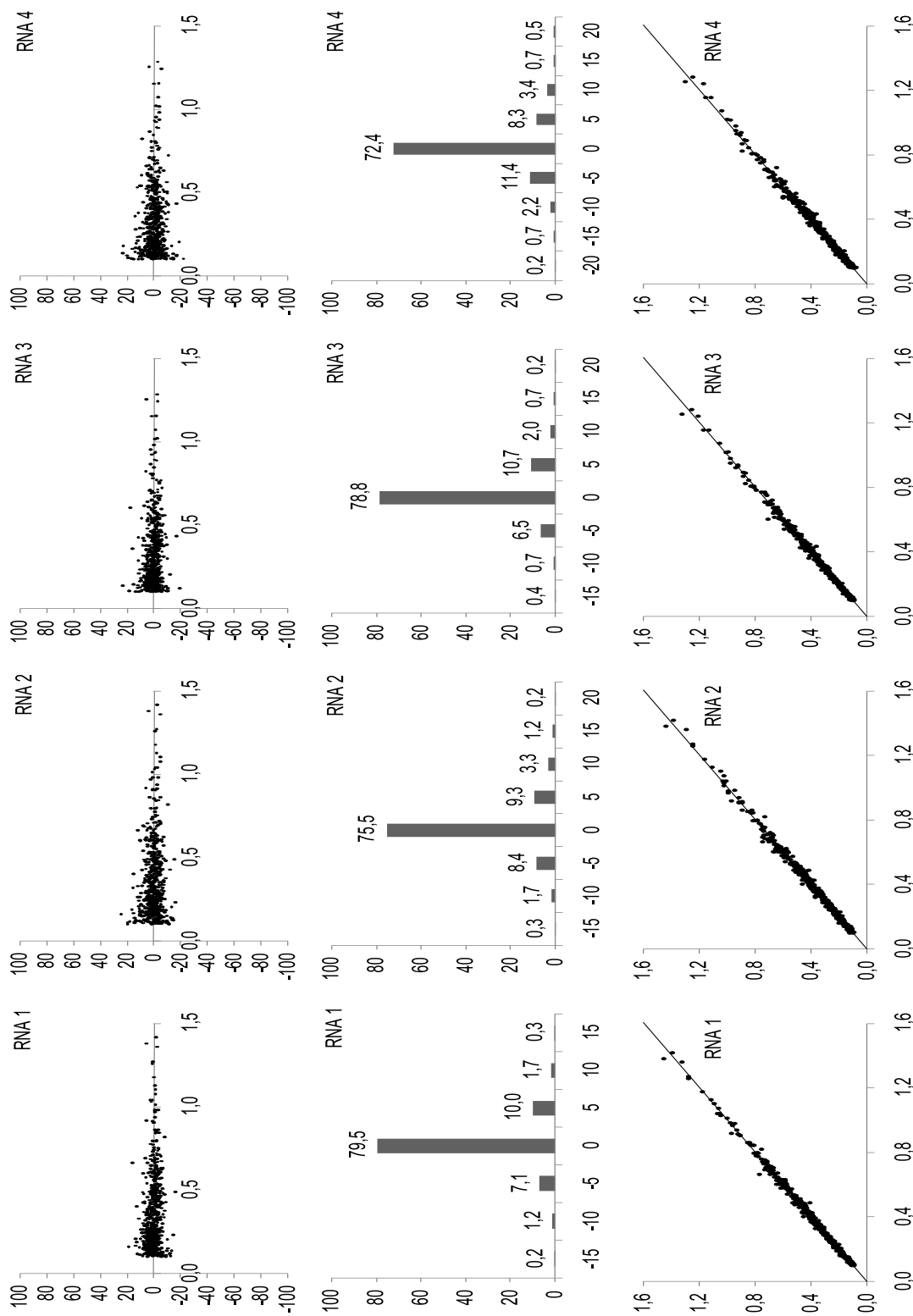


Figura 1 – Dispersão dos erros percentuais (y) em função dos volumes totais observados (x). Frequência percentual dos erros percentuais (y) em função das classes de erros percentuais (x). Relação entre valores observados (x) e estimados (y).
Figure 1 – Dispersion of percentage errors (y) depending on the totals volumes observed (x). Percentage frequency of percentage errors (y) depending on the class of percentage errors (x). Relationship between observed (x) and estimated (y) values.

Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos quando aplicado o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002), para as 10 melhores RNA ($\alpha = 5\%$), com o resultado da avaliação da hipótese H_0 : A distribuição de diamétrica estimada é igual à projeção estimada.

Table 2 – Summary of results when applying the statistical procedure proposed by Leite and Oliveira (2002), for the ten best ANN ($\alpha = 5\%$), with the result of evaluating the hypothesis H_0 : The estimated diameter distribution is equal to the estimated projection.

Estatística	RNA 1	RNA 2	RNA 3	RNA 4
F(H_0)	2,1798 ^{NS}	1,1561 ^{NS}	2,1486	2,9619
t(e)	1,4501 ^{NS}	1,2007 ^{NS}	1,9663	0,9311
$r_{xy} > 1 - \bar{e} $	sim	sim	sim	sim
Erro Médio (e)	0,0036	-0,0037	0,0053	-0,0020
Resultado	=	=	=	≠

Outro método com enfoque similar ao proposto é o de similaridade de perfis, proposto por Oliveira et al. (2009). O método pode ser resumido da seguinte forma: 1) Com os dados de cubagem existentes na empresa, ajustar o modelo de Kozak para todas as árvores; 2) Abate e cubagem de três árvores de clones novos, sendo uma árvore pequena, uma média e uma grande, em termos de dap e altura total e posterior ajuste do modelo de Kozak, considerando-se as três árvores; 3) Cálculo da distância euclidiana entre os parâmetros do modelo de Kozak do clone novo com os parâmetros de cada árvore dos clones comerciais e determinação da árvore mais similar; e 4) Determinação do estrato ao qual a árvore similar pertence, sendo identificada a equação de volume a ser aplicada no novo clone. Esse método, apesar de eficiente, não apresenta equação própria para o novo material genético introduzido, mas a equação mais similar. Se a equação que possuir menor distância euclidiana para o novo material genético não for compatível com este, ocorrerá a adição de um viés, que pode influenciar significativamente na quantificação dos estoques volumétricos.

A metodologia proposta neste estudo mostrou-se eficiente para a estimação do volume de árvores, sendo indicada para a obtenção do volume total com e sem casca de povoamentos de eucalipto, possibilitando a construção de equações volumétricas com custo relativamente baixo.

5. REFERÊNCIAS

AKINDELE, S. O.; LEMAY, V. M. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. **Forest Ecology and Management**, v.226, n.1-3, p.41-48, 2006.

AVRAMIDIS, S.; ILIADIS, L.; MANSFIELD, S. D. Wood dielectric loss factor prediction with artificial neural networks. **Wood Science Technology**, v.40, n.7, p.563-574, 2006.

BEHRE, C. E. Preliminary notes on studies of tree form. **Journal of Forestry**, v.21, p.507-511, 1923.

BLACKARD, J.; DEAN, D. Comparative accuracies of artificial neural networks and discriminant analysis in predicting forest cover types from cartographic variables. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.24, n.1, p.131-151, 1999.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 548p.

CAO, Q. V.; BURKHART, H. E.; MAX, T. A. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. **Forest Science**, v.26, n.1, p.71-80, 1980.

CLARK, A.; SOUTER, R. A.; SCHLAEGEL, B. E. **Stem profile equations for southern tree species**. Washington: USDA, 1991. (For. Serv. Res. Pap.SE-282)

CORNE, S. A. et al. Predicting forest attributes in southeast Alaska using artificial neural networks. **Forest Science**, v.50, n.2, p.259-276, 2004.

DEMAERSCHALK, J. P. Converting volume equations to compatible taper equations. **Forest Science**, v.18, n.3, p.241-245, 1972.

DEMAERSCHALK, J. P.; KOZAK, A. The whole-bole system: a conditioned dual-equation system for precise prediction of tree profiles. **Canadian Journal Forest of Research**, v.7, n.3, p.488-497, 1977.

DIAMANTOPOULOU, M. J. Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation. **Computers and electronics in agriculture**, v.10, n.3, p.235-244, 2005.

GÖRGENS, E. B. et al. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009.

GUAN, B. T.; GERTNER, G. Modeling red pine tree survival with an artificial neural network. **Forest Science**, v.37, n.5, p.1429-1440, 1991.



- GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Influência do número de árvores na determinação de equação volumétrica para *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n.50, p.37-42, 1996.
- HILT, D. E. **Taper-based system for estimating stem volume of upland oaks**. Washington: USDA, 1980. 12p. (For. Serv. Res. Pap. NE-458).
- KOZAK, A.; MUNRO, D. O.; SMITH, J. H. G. Taper functions and their application in forest inventory. **Forest Chronicle**, v.45, n.4, p.278-283, 1969.
- LEDUC, D. J. et al. **Predicting diameter distributions of longleaf pine plantations: a comparison between artificial neural networks and other accepted methodologies**. Asheville: USDA Forest Service, Southern Research Station, Research Paper, SRS-025, 2001.
- LEITE, H. G. et al. Estimation of inside-bark diameter and heartwood diameter for *Tectona grandis* Linn. trees using artificial neural networks. **European Journal of Forest Research**, v.130, n.2, p.263-269, 2010.
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, n.7/8, p.1105-1118, 2002.
- LIU, C. et al. Comparison of neural network and statistical methods in classification of ecological habitats using FIA data. **Forest Science**, v.49, n.4, p.619-631, 2003.
- MAX, T. A.; BURKHART, H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, v. 22, p.283-289, 1976.
- MEHTÄTALO, L.; MALTAMO, M.; KANGAS, A. The use of quantile trees in the prediction of the diameter distribution of a stand. **Silva Fennica**, v.40, n.3, p.501-516, 2006.
- OLIVEIRA, M. L. R. et al. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**, v.33, n.1, p.133-141, 2009.
- ORMEROD, D. W. A simple bole model. **Forest Chronicle**, v.49, p.136-138, 1973.
- SCHMOLDT, D. L.; LI, P.; ABBOTT, A. L. Machine vision using artificial neural networks with local 3D neighborhoods. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.16, p.255-271, 1997.
- SILVA, M. L. M. **Estimação do diâmetro sem casca e diâmetro do cerne para árvores de *Tectona grandis* Linn. utilizando redes neurais artificiais**. 2008. 47f. Monografia (Exigência para conclusão do curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.
- WIANT Jr., H. V.; WOOD, G. B.; WILLIAMS, M. Comparison of three modern methods for estimating volume of sample trees using one or two diameter measurements. **Forest Ecology and Management**, v.83, n.1, p.13-16, 1996.
- ZHANG, Q. B. et al. Tree-ring growth responses to climatic variables using artificial neural networks. **Forest Science**, v.46, n.2, p.229-239, 2000.