

## UM MÉTODO PARA DETERMINAR O VOLUME COMERCIAL DO *SCHIZOLOBIUM AMAZONICUM* (HUBER) DUCKE UTILIZANDO REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Eraldo Ferreira RODRIGUES<sup>1</sup>  
Terezinha Ferreira de OLIVEIRA<sup>2</sup>  
Maria Regina MADRUGA<sup>2</sup>  
Antonio Morais da SILVEIRA<sup>2</sup>

- RESUMO: Este trabalho apresenta um método para determinar o volume comercial do *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke, com casca, utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs). Compara os resultados com estimativas obtidas pelo método de regressão linear e quadrática. O modelo neural artificial utiliza uma RNA multicamada direta com uma camada intermediária e, o algoritmo de treinamento supervisionado *backpropagation*. Os resultados obtidos pelo modelo neural foram mais próximos do real que os obtidos pelos métodos de regressão linear e quadrática. O erro médio absoluto obtido pela RNA foi aproximadamente 50% menor quando comparado com o obtido pelo modelo de regressão quadrática e o erro padrão da estimativa cerca de 30% menor do que os obtidos pelos modelos de regressão linear e quadrática. Com o uso do modelo neural, não foi necessário utilizar o fator de forma, já que este varia de acordo com a idade, diâmetro e altura das árvores.
- PALAVRAS-CHAVE: Paricá; redes neurais artificiais; volume comercial.

### 1 Introdução

A busca por métodos mais eficazes para quantificação do volume de espécies florestais tem despertado o interesse da comunidade científica da área florestal e, como consequência, resultado num conjunto de soluções que vêm sendo utilizadas pela indústria de processamento de madeiras. Neste trabalho, estamos propondo um método para quantificação do volume da espécie *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke (paricá), utilizando um dos paradigmas das redes neurais artificiais (RNAs), como uma alternativa que contribua na busca da eficácia da solução deste problema.

Atualmente, a quantificação do volume do paricá e de outras espécies em geral é feita por equações alométricas obtidas por modelos de regressão, equações que consideram que a variável a ser prevista tenha relacionamento causa e efeito com as

---

<sup>1</sup> Embrapa Amazônia Oriental, CEP: 66095100, Belém, PA, Brasil. E-mail: [raldo@cpatu.embrapa.br](mailto:raldo@cpatu.embrapa.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Pará - UFPA, CEP: 66075110, Belém, PA, Brasil. E-mail: [tfo@ufpa.br](mailto:tfo@ufpa.br) / [madruga@ufpa.br](mailto:madruga@ufpa.br) / [morais@ufpa.br](mailto:morais@ufpa.br)

variáveis independentes. Na maioria das vezes, as variáveis independentes são fortemente correlacionadas e/ou obtidas por meio de medição, favorecendo a ocorrência de erros. Além disso, os modelos de regressão não são triviais e, apresentam dificuldades adicionais quando trabalham com variáveis não independentes.

As RNAs, por outro lado, são aproximadores universais que aprendem com os dados, considerando que os dados falam por si e, têm apresentado excelentes resultados na solução de problemas nas mais diversas áreas do conhecimento humano, principalmente na solução de problemas em ambientes mapeados por variáveis de domínios imprecisos, como no caso do problema da determinação do volume comercial de espécies florestais.

Sobre a espécie objeto do estudo, o *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke (paricá), trata-se de uma espécie da família Leguminosae, de porte elevado (20 a 30m), que ocorre nas regiões do Brasil, com exceção da Região Sul. Na Amazônia, o Paricá se encontra na mata primária e secundária de terra firme e várzea alta, nos estados do Pará, Rondônia, Amazonas e Mato Grosso. A madeira do Paricá é considerada leve (0,30 g/cm<sup>3</sup>), sedosa e lisa, mais ou menos lustrosa, de coloração branco-amarelo-claro, podendo conter uma tonalidade róseo-pálida.

O processamento da madeira no que se refere à retirada da casca, laminação, secagem, prensagem e acabamento, é facilitado pela adequada forma do fuste. Estudos têm demonstrado que no processo de laminação do paricá, obtém-se 80% de aproveitamento da madeira contra 55% em média, para outras espécies florestais (Marques, 1990). Além do potencial industrial para madeira de lâminas e compensados, fabricação de forros e palitos, o paricá é excelente para a produção de celulose, favorecido pelo fácil processo de branqueamento e resistência obtida (Marques *et al.*, 2004).

## 2 Material e métodos

Os dados referentes às árvores que fizeram parte deste estudo foram coletados do plantio da empresa Rio Concrem, situada no município de Dom Eliseu, Estado do Pará, km 30 da BR 010 (latitude de 4° 17' 06" Sul, longitude de 47° 30' 18" Oeste). O ambiente do plantio apresenta as seguintes características: altitude de 180m; temperatura entre 23 °C e 35°C; precipitação média anual em torno de 1400 mm; clima segundo Köppen, do tipo Aw (Bastos 1972). As propriedades do solo do plantio são as seguintes: baixa fertilidade, classificado como Latossolo Amarelo Distrófico; textura muito argilosa, com a argila variando de 89% a 96%; silte de 2% a 9% ; menos que 2% de areia; *pH* em H<sub>2</sub>O de 4,4; baixos teores de *K* (4 a 42 ppm) e *P* (<3 ppm); 42% de *V* e 4% de matéria orgânica.

No estudo do problema, foram consideradas 400 árvores, que foram classificadas em 8 grupos por idade e espaçamento de plantio. Foram consideradas as seguintes medições por árvore: Diâmetro da Base (*D<sub>B</sub>*) com casca, obtido a 0,30m do solo; Diâmetro com casca à Altura do Peito (*DAP*) a 1,30m do solo; diâmetros com casca a cada 2 metros (*D<sub>2</sub>* a *D<sub>10</sub>*) a partir do *DAP* até a altura dos primeiros ramos laterais das árvores, considerada como Altura Comercial (*H<sub>C</sub>*).

Para o cálculo do volume (*V<sub>C</sub>*) das árvores em m<sup>3</sup>, foi utilizado a equação de Sallis (Sallis *et al.*, 2004).

$$V_C = \frac{\pi H}{3} (R^2 + r^2 + Rr) \quad (1)$$

Onde:  $H$  = altura,  $R$  = raio maior,  $r$  = raio menor e  $\pi = 3,1416$ .

Assim, para as 50 árvores de cada grupo de idade e espaçamento de plantio, foram calculados  $n_j$  troncos de cones, conforme apresentado no Quadro 1.

Tabela 1 - Distribuição das árvores por espaçamento e idade ( $n_j$ - número de troncos de cones calculados)

Espaçam. (m x m)	Idade (ano)	D <sub>B</sub>	DAP	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>	D <sub>6</sub>	D <sub>7</sub>	D <sub>8</sub>	D <sub>9</sub>	D <sub>10</sub>	D <sub>11</sub>	$n_j$
		0,3	1,3	3,3	5,3	7,3	9,3	11,3	13,3	15,3	17,3	19,3	21,3	
4,0 x 4,0	4	50	50	50	49	41	21	5						6
	8	50	50	50	50	50	50	49	47	42	30	19	1	11
	11	50	50	50	50	50	50	48	44	41	30	17	2	11
4,5 x 4,5	7	50	50	50	50	50	50	50	47	44	28	15	1	11
	10	50	50	50	50	50	50	50	47	40	34	27		10
5,0 x 5,0	5	50	50	50	50	47	44	38	18	9				8
	6	50	50	50	50	48	48	45	39	33	26	11	1	11
	7	50	50	50	50	50	48	45	42	18	3			9

Como pode ser observado, para cada altura e diâmetro, foram calculados os volumes dos troncos de cone, e o volume total ( $V_{TC}$ ) de acordo com a Equação (2).

$$V_{TC} = \sum_{i=1}^{n_j} V_{C_i} \quad (2)$$

Das 400 árvores, foram escolhidas 100 árvores para o treinamento da RNA, de acordo com a Equação (3), considerando um erro  $d=0,032$ , nível de significância  $\alpha=5\%$ , variância populacional,  $\sigma^2 = 0,0366$  e a estatística  $t$  de Student igual a 1,96 (Fonseca; Martins, 1996).

$$n = \left[ \frac{t^2 \sigma^2 N}{d^2 (N-1) + t^2 \sigma^2} \right] \quad (3)$$

## 2.1 Redes Neurais Artificiais (RNA's)

Redes Neurais Artificiais (RNA's) são técnicas computacionais que apresentam um modelo inspirado na estrutura neural de organismos inteligentes e que adquirem conhecimento através da experiência. Podem ser vistas como sendo uma estrutura de processamento de informação distribuída paralelamente na forma de um grafo dirigido, com algumas restrições e definições próprias (Negnevitsky, 2005). Dentre os paradigmas neurais disponíveis, as RNA's multicamadas direta são as mais utilizadas na prática e, pelas características do problema abordado neste estudo, foi o paradigma adotado pelo método proposto. As arquiteturas das RNA's multicamada direta, são organizadas em camadas, conforme esquema da Figura 1. Neste tipo de rede, os padrões de entrada são apresentados na camada de entrada da rede, a RNA então propaga esses padrões de entrada pelas camadas até gerar o padrão de saída na camada de saída (Haykin, 2001).

Trabalhar com redes neurais artificiais requer os seguintes passos:

- Coleta de dados relativos ao problema e separação em dois conjuntos, um para treinamento e outro para teste de validação da RNA. Esta tarefa requer uma análise cuidadosa sobre o problema, para minimizar erros nos dados. Além disso, os dados coletados devem ser significativos e cobrir amplamente o domínio do problema, inclusive as exceções.
- Definição da configuração da RNA, que compreende: a seleção do paradigma neural apropriado à aplicação, a determinação da topologia a ser utilizada (número de camadas, número de neurônios de cada camada, etc.) e a determinação dos parâmetros do algoritmo de treinamento e funções de ativação dos neurônios da rede. Este passo tem grande impacto no desempenho da solução resultante.
- Treinamento da RNA. Neste passo, o algoritmo de treinamento escolhido, ajusta os pesos das conexões dos neurônios. É importante ressaltar que uma boa escolha dos valores iniciais dos pesos da rede pode diminuir o tempo necessário para o treinamento. Normalmente, os valores iniciais dos pesos são números aleatórios uniformemente distribuídos, em um intervalo definido. O treinamento deve ser interrompido quando a rede apresentar uma boa capacidade de generalização e quando a taxa de erro for suficientemente pequena, ou seja, menor que um erro admissível.
- Teste da rede. Neste passo, o conjunto de teste é utilizado para determinar a performance e a validação da RNA.

Finalmente, com a rede treinada e avaliada, ela pode ser integrada ao sistema do ambiente operacional do problema.

## 2.2 Método proposto

O paradigma neural utilizado na proposta foi uma RNA multicamada direta, com uma camada intermediária, de acordo com a Figura 1. O algoritmo de treinamento utilizado foi o algoritmo de treinamento *backpropagation*.

As variáveis de entrada da RNA são aquelas que representam 88,83% do total de variação do sistema de medição, mensuradas pela Análise Fatorial. Esta análise foi conduzida considerando o espaçamento, idade, diâmetro da base ( $D_B$ ), diâmetro à altura do peito ( $DAP$ ) e altura comercial ( $H_C$ ) resultando em dois fatores, com o valor do teste de adequação da amostra,  $KMO$ , igual a 0,763, acima de 0,500 para matriz completa e, com o teste de esfericidade de Bartlett significativo ( $p=0,000$ ) para o  $\chi^2$  com 10 graus de liberdade, indicando assim ser apropriada a aplicação dessa técnica de análise. (Hair *et al.*, 1998), (Johnson; Wichern, 1982).

Assim, após os cálculos de mensuração, foram consideradas: espaçamento, diâmetro da base ( $D_B$ ), Diâmetro à Altura do peito ( $DAP$ ) e altura comercial ( $H_C$ ).

A topologia da RNA (ver Figura 1), foi constituída de uma camada de entrada com 5 neurônios, um para cada variável de entrada, uma camada intermediária com 3 neurônios e uma camada de saída com um neurônio, o volume comercial com casca em  $m^3$  ( $V_{TC}$ ).

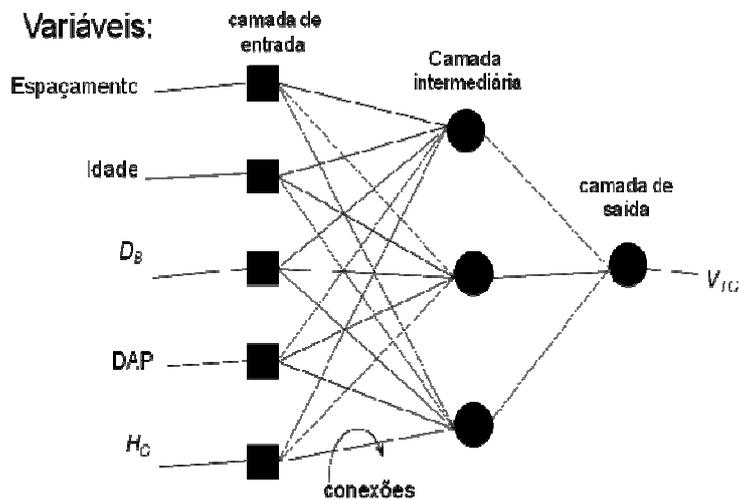


Figura 1 - Arquitetura da RNA proposta.

No treinamento da RNA foram utilizados os seguintes parâmetros (Matworks, Matlab6p1):

1. Os pesos (sinapses) foram inicializados aleatoriamente no intervalo  $[-0,5$  a  $0,5]$ ;
2. A taxa de aprendizado utilizada no algoritmo de treinamento *backpropagation* foi de  $0,01$ ;
3. A função de transferência *logsig* foi utilizada em todos os neurônios das camadas intermediária e de saída da rede;
4. O critério de parada do treinamento foi estabelecido pelo erro de aproximação da rede (erro médio quadrático), da ordem de  $10^{-05}$ ;
5. A validação foi realizada com uma massa de teste escolhida aleatoriamente compreendendo 50 árvores que não foram utilizadas na fase de treinamento da rede;
6. Na definição dos padrões de treinamento da rede, procurou-se contemplar uma ampla variedade de árvores, de volumes, idades e espaçamentos diferentes.

O modelo neural de avaliação proposto, foi comparado com os modelos de regressão através dos seguintes erros: Erro Médio Absoluto (*EM*), Erro Médio Relativo (*EMR*) e Erro Padrão da Estimativa ( $S_{\hat{V}_{TC}}$ ), obtidos respectivamente pelas equações (4),(5) e (6).

$$EM = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{|V_{TC} - \hat{V}_{TC}|}{n} \right] \quad (4)$$

$$EMR = 100 \left[ \frac{EM}{\bar{V}_{TC}} \right] \quad (5)$$

$$S_{\hat{V}_{TC}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(V_{TC} - \hat{V}_{TC})^2}{n}} \quad (6)$$

Foi feita a análise de regressão para estimativa dos modelos linear (Equação 7), quadrático (Equação 8) e cúbico com a variável dependente, Volume, e as independentes referentes ao *DAP*. O coeficiente do *DAP*<sup>3</sup> do modelo cúbico foi não significativo ( $p=0,5296$ ). Foi também testada a hipótese de normalidade dos resíduos dos modelos, obtendo-se valores de  $p \geq 0,1500$ . Assim, foram considerados os modelos linear e quadrático com erro-padrão das estimativas e coeficientes de determinação  $R^2$ , obtidos pelas seguintes equações:

$$\text{Linear: } \hat{V}_{RL} (m^3) = -0,5913 + 0,0441DAP, R^2 = 93,39\% \\ (\pm 0,0279) (\pm 0,0012) \quad (7)$$

$$\text{Quadrático: } \hat{V}_{RQ} (m^3) = -0,2498 + 0,0134DAP + 0,0007DAP^2, R^2 = 93,97\% \\ (\pm 0,1145) (\pm 0,0101) (\pm 0,0002) \quad (8)$$

### 3 Resultados e discussão

A Tabela 2 exibe as médias e erros definidos pelas equações (4), (5) e (6) dos resultados da validação da RNA ( $\hat{V}_{RNA}$ ), utilizando os dados de 50 árvores escolhidas para este processo de validação, bem como os resultados médios e erros obtidos pelos modelos de regressão linear ( $\hat{V}_{RL}$ ) e quadrática ( $\hat{V}_{RQ}$ ).

Tabela 2 - Volume do paricá calculados pela Equação 1 e estimados pelos diferentes métodos de avaliação

$V_{TC}$	$\hat{V}_{RL}$	$\hat{V}_{RQ}$	$\hat{V}_{RNA}$
<i>Média</i>	0,3954	0,3858	0,3961
<i>EM</i>	0,0336	0,0308	0,0178
<i>EMR (%)</i>	8,7000	8,0000	4,5000
$S_{\hat{V}_{TC}}$	0,1800	0,1800	0,1300

As Figuras 2(A e B) exibem a comparação entre os volumes calculados ( $V_{TC}$ ) e os estimados pelos métodos da regressão Linear ( $\hat{V}_{RL}$ ) e Quadrática ( $\hat{V}_{RQ}$ ), respectivamente.

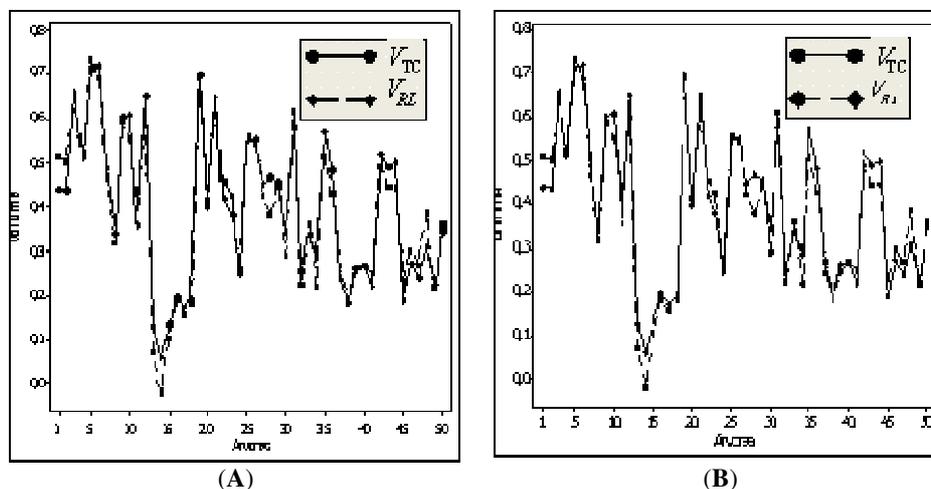


Figura 2 - (A) Comparação dos volumes ( $V_{TC}$ ) e ( $\hat{V}_{RL}$ ). (B) Comparação dos volumes ( $V_{TC}$ ) e ( $\hat{V}_{RQ}$ ).

O método proposto, além de proporcionar boas estimativas, não necessita da independência das variáveis predictoras, nem da utilização de métodos para trabalhar a correlação entre as variáveis envolvidas na solução do problema.

Pelos ensaios realizados com RNA's, constatamos que a melhor estimativa do volume foi obtida utilizando uma RNA multicamada direta, com três neurônios na camada intermediária. O erro médio absoluto obtido pela RNA ( $EM=0,0178$ ), foi aproximadamente 50% menor quando comparado com o obtido pelo modelo de regressão quadrática ( $EM=0,0308$ ), e o erro padrão da estimativa foi cerca de 30% menor do que os obtidos pelos modelos de regressão linear e quadrática, o que configura um excelente resultado em termos de avaliação de volumes de árvores florestais.

## Conclusões

Podemos concluir que os resultados obtidos pelo método proposto tendem a ser mais próximo do real que os obtidos pelos métodos de regressão linear e quadrática.

Que as redes neurais artificiais multicamada direta, podem ser uma excelente alternativa para a estimativa do volume comercial de espécies florestais e, podem contribuir sobremaneira para a eficácia da solução desse importante problema.

RODRIGUES, E. F.; OLIVEIRA, T. F.; MADRUGA, M. R.; SILVEIRA, A. M. A method for determining the commercial volume of the *schizolobium amazonicum* (huber) ducke using artificial neural networks. *Rev. Bras. Biom.*, São Paulo, v.28, n.1, p.16-23, 2010.

- **ABSTRACT:** *This work presents a method for determining of the commercial volume of the Schizolobium amazonicum (Huber) Ducke, with peel, using Artificial Neural Networks (RNA's). It compares the results with estimates obtained by the method of linear and quadratic regression.*

*The artificial neural model uses a ANN direct multilayer with a intermediate layer and, the algorithm of training supervised backpropagation. The results obtained by the neural model were much closer to that which is true than obtained them by the methods of linear and quadratic regression. The absolute mean error obtained by ANN was approximately smaller by half when compared to that obtained by the quadratic regression model, and the standard error of the estimate was about 30% smaller than obtained by the linear and quadratic regression model. With the use of the neural model, it was not necessary to use the form factor, since among others, this varies in agreement with the age, diameter and height of the trees.*

- **KEYWORDS:** *Paricá; artificial neural network; commercial volume.*

## **Referências**

- BASTOS, T. X. *O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira*. Belém: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte, IPEAN, 1972. (Boletim Técnico 54).
- FONSECA J. S.; MARTINS G. A. *Curso de estatística*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 1996. 320p.
- HAIR, J. F.; ANDERSON, R.E.; TATHAN, R. L.; BLACK, W. C. *Multivariate data analysis*. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. 2. ed., Porto Alegre: Bookman. 2001. 898p.
- JOHNSON, R. A; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analyses*. New Jersey: Prentice-Hall, 1982. 376p.
- MARQUES, L. C. T. *Comportamento inicial de Paricá, Tatajuba e eucalipto, em plantio associado com milho e capim-marandu, em Paragominas, Pará*. 1990, 92f. Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.
- MARQUES, T. C. L. L. S. M.; CARVALHO, J. G. C.; LACERDA, M., P. C.; MOTA, P. E. F. Crescimento inicial do Paricá sob omissão de nutriente e de sódio em solução nutritiva. *Cerne*, Lavras, v.10, n.2, p.184-195. 2004.
- MATWORKS. *Neural Network Toolbox User's Guide: for use with MATLAB*, Matlab6p1.
- NEGNEVITSKY, M. *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. 2. ed. Addison Wesley, England. 2005. 440p.
- SALLIS, S. M.; ASSIS, M. A.; MATTOS, P. P.; PIÃO, A. C. S. *Equações para estimar biomassa e volume de madeira em cerradões do Pantanal da Nhecolândia, MS*. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2004. 4p. (Circular Técnica 50).

Recebido em 03.09.2009.

Aprovado após revisão 05.02.2010.