



Fósforo da serapilheira acumulada estimado por meio de redes neurais artificiais.

Marcos Vinicius Winckler Caldeira⁽¹⁾; Roberto Rorras dos Santos Moura⁽²⁾; Daniel Henrique Breda Binoti⁽³⁾; Paulo Henrique de Souza⁽⁴⁾; William Macedo Delarmelina⁽⁴⁾; Kallil Chaves Castro⁽⁴⁾.

⁽¹⁾ Professor, Universidade Federal do Espírito Santo; Jerônimo Monteiro, Espírito Santo; mvwcaldeira@gmail.com; ⁽²⁾ Mestrando, Universidade Federal do Espírito Santo; ⁽³⁾ Pós-Doc, Universidade Federal do Espírito Santo; ⁽⁴⁾ Doutorando, Universidade Federal do Espírito Santo.

RESUMO: O Brasil tem utilizado o eucalipto como principal fonte de consumo de madeira para o uso industrial, a influência desse crescimento no setor florestal despertou um crescente interesse em avaliar a importância de seus possíveis efeitos nos atributos do solo. O objetivo foi propor, construir e validar um modelo para estimar a quantidade de P da serapilheira acumulada em povoamentos de eucalipto por meio da utilização de redes neurais artificiais. Foi utilizado um banco de dados obtidos em um plantio comercial de eucalipto situado no município de Aracruz, estado do Espírito Santo, nos quais foram coletados em 4 parcelas (30 x 30m), com três idades (10, 11 e 12 anos), separado em três frações (folhas; galhos/casca; total). Para o treinamento e generalização da RNA, foi utilizado o tipo Multilayer Perceptron (MLP), como Função de Ativação Sigmoidal, na camada oculta e de saída, como algoritmo o resilient propagation. Para o treinamento e avaliação das redes foi utilizado o software NeuroForest 3.3. Testaram-se as configurações, e obtiveram-se coeficientes de correlação superiores a 0,88 no treinamento e 0,89 na generalização. As RNA podem ser utilizadas de maneira eficiente para estimar a quantidade de P na serapilheira acumulada em povoamentos *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Termos de indexação: validar um modelo, Multilayer Perceptron, NeuroForest.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem utilizado o eucalipto como principal fonte de consumo de madeira para o uso industrial em diversos segmentos como celulose e papel, painéis de madeira, carvão, lenha industrial, entre outros produtos (Ibá, 2014). Porém questiona-se sobre as alterações que essas espécies podem causar a fertilidade do solo (Gama-Rodrigues et al., 2008).

A influência desse crescimento no setor florestal despertou um crescente interesse em avaliar a importância de seus possíveis efeitos nos atributos do solo, visto que técnicas de manejo adequadas contribuem com uma maior disponibilização de

nutrientes, consequentemente uma maior produtividade da espécie (Corrêa Neto et al., 2014).

Segundo Trap et al. (2011) o desenvolvimento da floresta pode ser caracterizado por mudanças de características no solo, pela eficiência da ciclagem de nutrientes. O P é um nutriente de grande importância na serapilheira acumulada, por apresentar uma maior velocidade de liberação do nutriente para o solo (Fernandes et al., 2006).

Estudos relacionados à quantificação de P e outros nutrientes na serapilheira são comuns para florestas nativas, porém utilizando métodos tradicionais de coleta da serapilheira, por meio de um gabarito de madeira, separando-os em frações vegetais (folhas, galhos, casca, etc.), e em seguida encaminhadas ao laboratório de análises de tecido vegetal, procedimento esse sempre necessário quando se deseja saber como está o estado nutricional da mesma. Essa maneira tradicional de quantificação do P consome um longo período de tempo e despesas financeiras, tornando muitas vezes inviável de ser realizar a pesquisa.

Em razão disso, buscou-se aplicar redes neurais artificiais como um método alternativo para estimar a quantidade de P da serapilheira acumulada, de forma a reduzir gastos laboratoriais para a quantificação do mesmo. Segundo Haykin (2001) e Braga et al. (2007) as redes são sistemas computacionais paralelos constituídos por unidades de processamento simples, sendo conhecidas por neurônios artificiais ou nodos, conectadas entre si de modo específico para realizar determinada tarefa.

Visando criar uma estimativa exata a quantidade de P presente na serapilheira acumulada, reduzindo os custos de análises químicas, este trabalho teve como objetivo propor, construir e validar um modelo para estimar a quantidade de P da serapilheira acumulada em povoamentos de eucalipto por meio da utilização de redes neurais artificiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição área estudada

As informações utilizadas nesse estudo foram obtidas em um plantio comercial de eucalipto situado no município de Aracruz, estado do Espírito

Santo. A área encontra-se na latitude 19° 48' S e longitude 40° 17' W, apresenta altitude média de 34 m. Segundo Köppen o clima da região é caracterizado como do tipo Aw, tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno, com temperatura média anual de 23°C. O solo é caracterizado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado bem drenado textura médio-argilosa (Embrapa, 2013).

Tratamentos e amostragens

As amostras de serapilheira foram coletadas em 4 parcelas (30 x 30m), com três idades (10, 11 e 12 anos), separado em três frações (folhas; galhos/casca; total). Tendo a biomassa da serapilheira acumulada uma variação de 3.598,88 Kg ha⁻¹ a 17.051,68 Kg ha⁻¹, e os valores das quantidades de P variação de 0,81 a 8,76 kg ha⁻¹ no plantio *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

Os teores de P, para as frações (folhas, galhos/casca e total) foram obtidos por meio de análises químicas, de acordo com metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Treinamento e avaliação das RNA

Para verificar a influência das variáveis: biomassa acumulada, idade e material vegetal (fração) na estimativa P, foram ajustadas redes de modo que em cada ajuste uma variável fosse eliminada (**Tabela 1**). Para o treinamento e generalização da RNA, foi utilizado o tipo Multilayer Perceptron (MLP) (Braga et al., 2007).

Como Função de Ativação utilizou-se a Sigmoidal, na camada oculta e de saída, como algoritmo o *resilient propagation* (Braga et al., 2007).

Tabela 1 – Características das redes neurais artificiais (RNA) selecionadas para estimar a quantidade de P da serapilheira acumulada.

RNA	Arquitetura	Variáveis de entrada		Variável de saída
		Quan.	Qual.	
1	8-8-1	BA	I, F	P
2	5-8-1	BA	I	P
3	5-8-1	BA	F	P
4	2-8-1	BA	-	P

Quan.: Quantitativas, Qual.: Qualitativas, BA: biomassa acumulada; I: idade, F: fração, P: fósforo.

O P estimado foi feito com base em uma simulação de todas as combinações possíveis das variáveis de entrada, sendo as variáveis quantitativas normalizadas no intervalo de 0 a 1 e as variáveis qualitativas 1-de-N (Heaton, 2011). Foram geradas 100 redes para cada combinação, posteriormente foi escolhida a melhor RNA por meio

dos critérios de avaliação da RNA. Utilizou-se 80% da amostra para treinamento e 20% para validação, no processo de treinamento os algoritmos, utilizaram como critérios de parada o erro quadrático médio inferior a 0,01%, ou número total de ciclos (3.000). Para o treinamento e avaliação das redes foi utilizado o software NeuroForest 3.3 disponível gratuitamente em (<http://neuroforest.ucoz.com/>).

Avaliações das RNA's

As análises das estimativas geradas pelas redes foram feitas por meio do coeficiente de correlação (r), raiz quadrada do erro médio (RQME) (Equação 1), histograma de frequência percentual dos erros (%) e análise gráfica dos valores observados e estimados.

$$RQME(\%) = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} / \bar{Y} \quad (1)$$

Em que: Y = saída observada do N nas análises químicas; \hat{Y} = saída estimada; \bar{Y} = média da saída observada; n = número total de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As descrições das RNA obtidas durante o treinamento e generalização são apresentadas na (**Tabela 2**). Em consequência da quantidade de redes utilizadas no processo de treinamento e generalização, foi selecionada uma RNA (para cada variável testada) que proporcionou melhor valor, com base nas características estatísticas obtidas de RQME (%) e correlação (r) entre valores observados e estimados no processo de treinamento e generalização.

Tabela 2 – Características estatísticas das redes neurais artificiais (RNA), selecionadas para estimar a quantidade de P da serapilheira acumulada.

RNA	Treinamento		Generalização	
	RQME (%)	r	RQME (%)	r
1	3,52	0,95	3,46	0,90
2	3,56	0,95	3,36	0,89
3	3,61	0,89	3,38	0,97
4	3,33	0,88	2,64	0,95

A diferença entre os valores de correlação das melhores RNA treinadas foram de 0,07 e generalizada de 0,08

Observando assim que a variável de entrada pouco influenciou na estimativa da quantidade de P da serapilheira acumulada.



A dispersão dos resíduos em função dos valores observados e o histograma de resíduos (**Figuras 1 e 2**) demonstram a eficiência do método na estimação da quantidade de P da serapilheira acumulada.

A amostragem para geração de equações para estimar o P em povoamentos florestais surge como uma forma inovadora e econômica de se estudar a ciclagem de nutriente no sistema biogeoquímico, ou seja, uma maneira de reduzir gastos com análises químicas.

Com a aplicação RNA, a próxima análise de P poderá ser realizada com a variável quantitativa quantidade da biomassa acumulada, e qualitativa idade de plantio e fração do material vegetal. Entretanto, o modelo precisa ser utilizado para outras situações e mais variáveis de entrada, para comprovação da sua eficiência.

CONCLUSÕES

As RNA podem ser utilizadas de maneira eficiente para estimar a quantidade de fósforo na serapilheira acumulada em povoamentos *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fibria Celulose S. A., pela oportunidade para o desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. Redes neurais artificiais: teoria e aplicações. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

CORRÊA NETO, T. de A.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G. et al. Aporte de serapilheira em plantios de eucalipto em função da qualidade do sítio. Pesquisa florestal brasileira, Colombo, v. 34, n. 80, p. 399-406, 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília-DF: EMBRAPA-SPI, 2013. 353p.

FERNANDES, M. M.; PEREIRA, M. G.; MAGALHÃES, L. M. S. et al. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na Flona Mário Xavier, RJ. Ciência Florestal, v.16, n.2, p.163-175, 2006.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P. et al. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações

de eucalipto, em diferentes sítios da Região Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v. 32, p. 1489-1499, 2008.

HAYKIN, S. Redes neurais: princípios e prática. Porto Alegre: 2001. 900p.

HEATON, J. Programming Neural Networks with Encog 3 in Java. 2. ed. Heaton Research, Incorporated, 2011. 240p.

IBÁ. INDÚSTRIA BRASILEIRA ÁRVORES. Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2013. Brasília-DF, 2014. 100p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.

TRAP, J.; BUREAU, J.; AKPA-VINCESLAS, M. et al. Changes in soil n mineralization and nitrification pathways along a mixed forest chronosequence. Forest Ecology Management, Amsterdam, v. 258, p. 1284–1293, 2009.

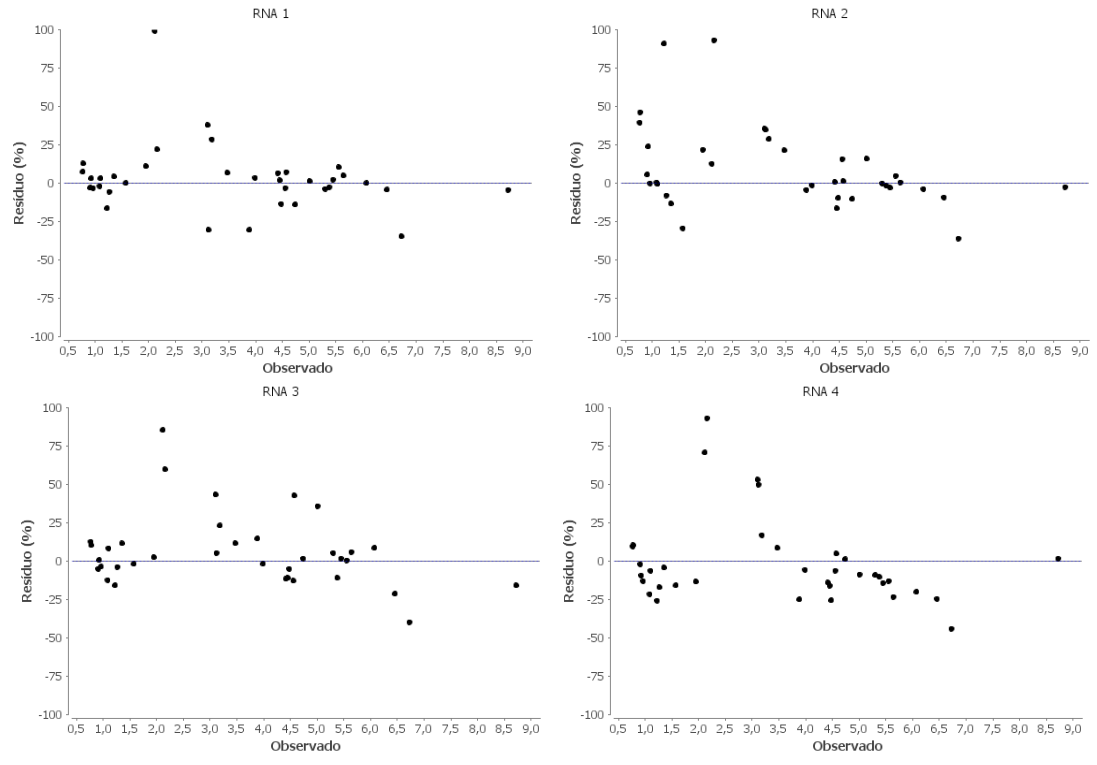


Figura 1 – Dispersão dos erros percentuais das estimativas da quantidade de P da serapilheira acumulada pelas redes neurais artificiais (y), em função dos valores observados da altura total (x).

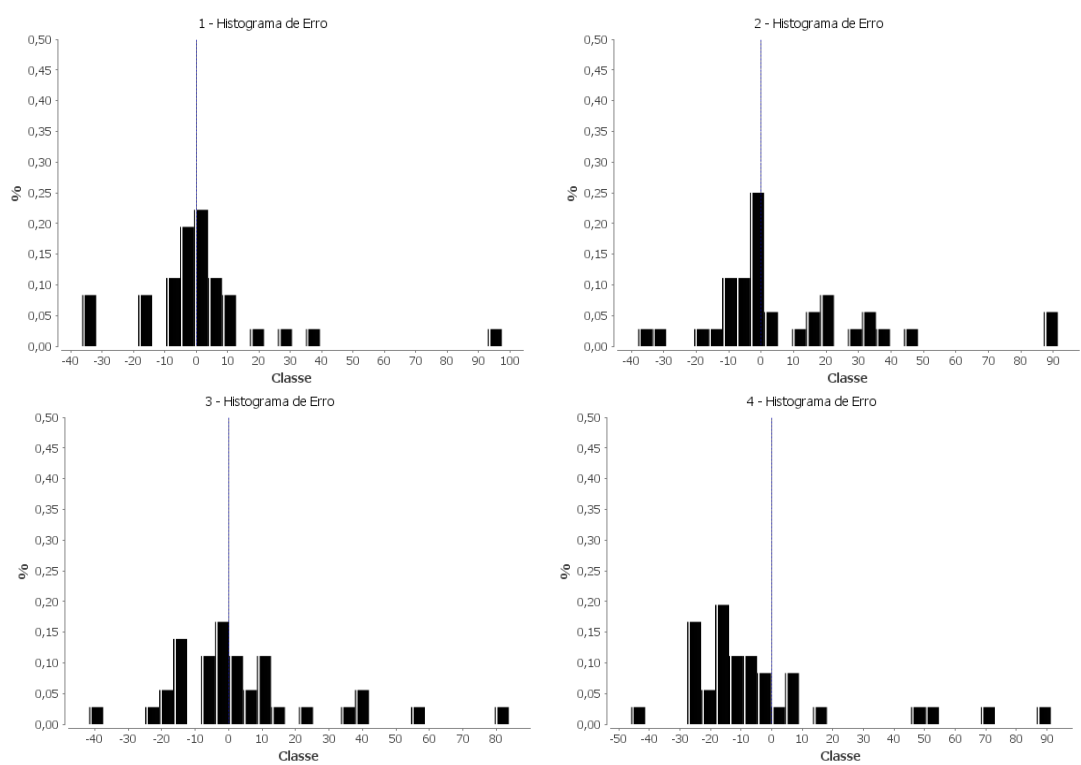


Figura 2 – Frequência percentual dos erros percentuais das estimativas da quantidade de P da serapilheira acumulada pelas redes neurais artificiais (y) em função das classes de erros percentuais (x). Os números em cada barra indicam os percentuais de casos por classe de erro (%).