



Redes de Bases Radiais na prognose de volume de plantações de *Pinus taeda*

Flávio Chiarello¹; Maria Teresinha Arns Steiner²; Edilson Batista de Oliveira³; Júlio Eduardo Arce⁴; Fernanda Medeiros Assef⁵

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas na PUC-PR, Curitiba, PR, flavio_chi@hotmail.com; ²Doutora em Engenharia de Produção, docente e pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da PUC-PR, Curitiba, PR, maria.steiner@pucpr.br; ³Doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR, edilson.oliveira@embrapa.br; ⁴Doutor em Engenharia Florestal, docente e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR, Curitiba, PR, jarce@ufpr.br; ⁵Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas na PUCPR, Curitiba, PR, fermassef@gmail.com

Resumo: O presente trabalho teve como finalidade apresentar uma aplicação da metodologia de Redes Neurais Artificiais, em especial as Redes de Bases Radiais, para a prognose do volume final de madeira para plantações de *Pinus taeda*, em diferentes condições impostas no manejo florestal. Com o auxílio do software SisPinus, foi possível analisar e identificar os principais atributos para a determinação do volume (24 atributos no total), assim como, auxiliar na geração de 144 instâncias a serem utilizadas como *inputs* (entradas) para a rede gerada pela ferramenta Matlab. A comparação dos dados originais com os simulados apresentou forte convergência, alcançando erros quadráticos extremamente baixos para o conjunto de treinamento e para o conjunto de teste, consolidando que a abordagem de Redes de Bases Radiais pode ser uma excelente ferramenta para a prognose de volume da espécie *Pinus taeda*, assim como para outras espécies.

Palavras-chave: Inteligência artificial; Redes neurais artificiais; Manejo florestal de precisão.

Introdução e objetivos

Desde a revolução industrial dos séculos 18 e 19, a grande competitividade imposta pela globalização passou a exigir das empresas a busca constante por mudanças e implementações de novos processos em todas as áreas de negócio. Assim, os avanços tecnológicos têm permitido que todas as áreas, independentemente da esfera de atuação, possam se atualizar e buscar por sistemas integrados que auxiliem na tomada de decisão. Essa nova perspectiva tem se tornado, hoje, uma das principais vantagens competitivas.

A construção de sistemas integrados com o emprego da base científica tem sido considerada uma brilhante estratégia empresarial no que diz respeito à tomada de decisão. A área florestal também tem buscado avanços, como é o caso dos simuladores de crescimento e de produção florestal desenvolvidos pela Embrapa Florestas (OLIVEIRA, 2011). Denominados por “Sis” seguido pelo nome popular da espécie ou gênero (SisEucalipto, SisPinus, etc), estes softwares

permitem testar, para cada condição de clima e solo, todas as opções de manejo da floresta, fazer prognoses de produções presente e futura, simulando desbastes das florestas com previsão do crescimento e produção anual do povoamento e o sortimento de madeira por classe diamétrica para usos múltiplos das árvores provenientes dos desbastes e do corte final.

Concomitante, algumas técnicas das áreas da Estatística e da Pesquisa Operacional começaram a ganhar força neste cenário, como é o caso das Redes Neurais Artificiais (RNA). Estudos nesta linha no Brasil, como os desenvolvidos por Gorgens et al. (2009); Leite et al. (2011); Binoti et al. (2013, 2014); Cordeiro et al. (2015) e Vendruscolo et al. (2015). têm sido significativos para aplicações na ciência florestal.

As RNA, em sua essência, são observadas como modelos computacionais que realizam analogias com o sistema nervoso central humano, capazes de adquirir conhecimento para prognoses e reconhecimento de padrões a partir do aprendizado. Seu amplo leque de espectros/arquiteturas permite avaliar diferentes



configurações de rede, gerando, como resultado, o encontro de boas soluções no espaço de busca com amostras pequenas, porém equilibradas, de uma população.

O principal objetivo deste trabalho é apresentar uma aplicação da metodologia de Redes Neurais Artificiais, em especial as Redes de Bases Radiais, para a prognose do volume de madeira de plantações de *Pinus taeda*, para diferentes condições impostas no manejo florestal.

Material e métodos

Os dados utilizados nesta pesquisa foram gerados pelo *software* SisPinus, considerando os principais atributos (variáveis) identificados, com base no próprio SisPinus, como capazes de influenciar diretamente no volume final do povoamento de *Pinus taeda*.

A análise detalhada considerou previamente ou permitiu encontrar as seguintes variáveis: índice de sítio (dado pela altura média das árvores dominantes aos 15 anos), número de árvores plantadas por hectare, percentuais de sobrevivência das árvores no primeiro ano do planejamento, níveis de homogeneidade da plantação, idade de colheita final do povoamento, altura dominante no desbaste, altura dominante no corte final, número de árvores remanescentes no desbaste e na colheita final, diâmetro médio no desbaste e na colheita final, altura média no desbaste e na colheita final, altura média no desbaste, área basal no desbaste e na colheita final, idade do desbaste, tipo do desbaste (seletivo, sistemático ou misto), podendo ser determinado pela área basal, número de árvores remanescentes ou linha a ser retirada), volume total no desbaste, volume colhido no desbaste, e volume na colheita final.

Com base nessas condições, foram obtidas 144 instâncias, definidas por dois talhões com 1.667 ou 2.000 árvores plantadas por hectare, níveis de homogeneidade igual a 5, índices de sítio 18 m, 21 m ou 24 m, um único desbaste seletivo aos 8 ou 12 anos de idade,

deixando remanescentes 400, 600, 800 ou 1000 árvores por hectare (Tabela 1)

Com as instâncias criadas, a próxima etapa consistiu em normalizar os valores encontrados para que pudessem servir como fonte de entrada para a rede do tipo RBF, implementada no software Matlab, versão r2017b. Assumindo sua representação mais simplificada, a rede RBF é dotada, além dos n nós de entrada (x^l , com $l = 1, 2, \dots, n$) que conectam a rede com o ambiente, por uma camada de saída (y_r , com $r = 1, 2, \dots, p$), uma camada intermediária, baseada em funções radiais (ϕ_i , com $i = 1, 2, \dots, s$) e as coordenadas (C_i , com $i = 1, 2, \dots, s$), que não correspondem aos pesos, mas sim aos centros das funções e o vetor de pesos (w_{ij} , com $i = 1, 2, \dots, p$ e $j = 1, 2, \dots, s$) (MOTA et al., 2011). Essa arquitetura pode ser mais bem compreendida na da Figura 1.

O objetivo desta rede é gerar os resultados sobre a previsão do volume encontrado para a espécie *Pinus taeda*. Para tanto, das 144 instâncias obtidas, 98 foram utilizadas para o treinamento da rede e as demais 48, para testar a rede treinada; os dois conjuntos (para treinamento e teste) foram obtidos de forma estratificada, evitando-se assim, possíveis tendências ao longo do processo.

A abordagem aplicada para realizar a comparação entre os valores reais e o simulado pela rede foi o erro quadrático médio entre instâncias e, também, o erro quadrático médio global. Adicionalmente, foi avaliado o módulo da diferença de cada instância, de forma a aferir os resultados individuais de cada uma delas.

Por utilizar dados de simulações do SisPinus, em que a obtenção dos volumes de povoamentos florestais, em função de características destes, não envolve custos ou limites na quantidade de tais simulações, não se buscou neste trabalho nenhum resultado que visasse substituir a aplicação do software para obtenção de prognose de crescimento e produção dos povoamentos florestais. Assim, os dados trabalhados têm apenas a finalidade de possibilitar a aplicação da metodologia estudada e testá-la com valores numéricos.

**Tabela 1.** Obtenção das instâncias a partir da definição dos atributos.

Índice de sítio	Árvores plantadas/ha	% de sobrevivência (primeiro ano)	Nível de homog. 1 a 10.	Idade final	Altura dominante (m) até o desbaste 1	Altura dominante (m) até o corte final	Nº árvores remanesc./ha (até o ano do desbaste 1)
18	1667	100	5	16	11,5	18,9	1666
18	1667	100	5	16	11,5	19,0	1666
18	1667	100	5	16	11,5	19,2	1666
18	1667	100	5	16	11,5	19,3	1666
18	1667	100	5	16	15,6	19,3	1654
18	1667	100	5	16	15,6	19,3	1654
18	1667	100	5	16	15,6	19,4	1654
18	1667	100	5	16	15,6	19,5	1654
18	1667	100	5	19	11,5	20,9	1666
18	1667	100	5	19	11,5	21	1666
18	1667	100	5	19	11,5	21,2	1666
18	1667	100	5	19	11,5	21,3	1666
18	1667	100	5	19	15,6	21,3	1654
18	1667	100	5	19	15,6	21,4	1654
18	1667	100	5	19	15,6	21,5	1654
18	1667	100	5	19	15,6	21,5	1654
18	1667	100	5	22	11,5	22,7	1666
18	1667	100	5	22	11,5	22,8	1666
18	1667	100	5	22	11,5	23	1666
18	1667	100	5	22	11,5	23,1	1666
18	1667	100	5	22	15,6	23,1	1654
18	1667	100	5	22	15,6	23,2	1654
18	1667	100	5	22	15,6	23,3	1654
18	1667	100	5	22	15,6	23,3	1654
18	2000	100	5	16	11,6	18,9	1998
18	2000	100	5	16	11,6	19,1	1998
18	2000	100	5	16	11,6	19,2	1998
18	2000	100	5	16	11,6	19,3	1998
18	2000	100	5	16	15,7	19,3	1974
18	2000	100	5	16	15,7	19,3	1974
18	2000	100	5	16	15,7	19,4	1974
18	2000	100	5	16	15,7	19,5	1974
18	2000	100	5	19	11,6	20,9	1998
18	2000	100	5	19	11,6	21,1	1998
18	2000	100	5	19	11,6	21,2	1998
18	2000	100	5	19	11,6	21,3	1998
18	2000	100	5	19	15,7	21,3	1974
18	2000	100	5	19	15,7	21,4	1974
18	2000	100	5	19	15,7	21,5	1974
18	2000	100	5	19	15,7	21,6	1974
18	2000	100	5	22	11,6	22,7	1998

Continua...



Tabela 1. Continuação.

Nº árvores no corte final	Diâmetro médio até o desbaste 1	Diâmetro médio (pós desbaste) - corte final -	Altura média (até o desbaste 1)	Altura média (até o corte final)	Altura média (sortimento do desbaste 1)	Área basal (até o desbaste1)	Área basal (até o corte final)	Ano do desbaste 1
400	14,3	27,1	9,9	17,4	10,3	26,8	23,0	8
599	14,3	24,9	9,9	17,1	10,0	26,8	29,3	8
797	14,3	23,9	9,9	16,9	9,7	26,8	35,7	8
990	14,3	23,1	9,9	16,8	9,4	26,8	41,6	8
400	18,2	25,2	13,3	17,9	13,9	43,2	19,9	12
599	18,2	23,9	13,3	17,6	13,4	43,2	26,9	12
797	18,2	23,3	13,3	17,3	13,0	43,2	33,9	12
989	18,2	22,8	13,3	17,2	12,5	43,2	40,3	12
400	14,3	29,5	9,9	19,1	10,3	26,8	27,4	8
598	14,3	27,0	9,9	18,8	10,0	26,8	34,2	8
793	14,3	25,7	9,9	18,6	9,7	26,8	41,2	8
977	14,3	24,8	9,9	18,5	9,4	26,8	47,2	8
400	18,2	27,9	13,3	19,7	13,9	43,2	24,4	12
598	18,2	26,1	13,3	19,3	13,4	43,2	32,0	12
793	18,2	25,2	13,3	19,1	13,0	43,2	39,5	12
972	18,2	24,5	13,3	18,9	12,5	43,2	45,7	12
399	14,3	31,6	9,9	20,6	10,3	26,8	31,2	8
595	14,3	28,7	9,9	20,3	10,0	26,8	38,4	8
787	14,3	27,2	9,9	20,1	9,7	26,8	45,7	8
958	14,3	26,2	9,9	20	9,4	26,8	51,5	8
399	18,2	30,1	13,3	21,3	13,9	43,2	28,4	12
595	18,2	27,9	13,3	20,9	13,4	43,2	36,3	12
785	18,2	26,7	13,3	20,7	13,0	43,2	44,0	12
949	18,2	25,8	13,3	20,5	12,5	43,2	49,6	12
400	13,8	26,8	9,9	17,4	10,4	30,0	22,5	8
599	13,8	24,6	9,9	17,1	10,1	30,0	28,5	8
797	13,8	23,6	9,9	17,0	9,9	30,0	34,8	8
990	13,8	22,8	9,9	16,9	9,6	30,0	40,5	8
400	17,5	24,6	13,3	17,9	14,0	47,6	19,0	12
599	17,5	23,3	13,3	17,6	13,6	47,6	25,5	12
797	17,5	22,6	13,3	17,4	13,2	47,6	32,1	12
989	17,5	22,2	13,3	17,3	12,9	47,6	38,2	12
400	13,8	29,3	9,9	19,1	10,4	30,0	26,9	8
598	13,8	26,7	9,9	18,8	10,1	30,0	33,5	8
793	13,8	25,4	9,9	18,7	9,9	30,0	40,2	8
977	13,8	24,5	9,9	18,6	9,6	30,0	46,2	8
400	17,5	27,4	13,3	19,8	14,0	47,6	23,6	12
598	17,5	25,6	13,3	19,4	13,6	47,6	30,7	12
793	17,5	24,6	13,3	19,2	13,2	47,6	37,8	12
972	17,5	23,9	13,3	19,0	12,9	47,6	43,7	12
399	13,8	31,3	9,9	20,7	10,4	30,0	30,8	8

Continua...



Tabela 1. Continuação.

Tipo de desbaste (1) 1	Fixando área basal 1.1	Fixando o número de árvores 1.2	Linha a ser desbastada 1.3	Volume total até o ano do desbaste 1	Resultado Volume (m³) Desbaste 1	Resultado Volume (m³) Corte final	Volume total (? soma do D1 + corte final).
Seletivo	0	400	0	106,2	68,6	159,9	228,5
Seletivo	0	600	0	106,2	53,5	200,0	253,5
Seletivo	0	800	0	106,2	40,0	241,8	281,8
Seletivo	0	1000	0	106,2	28,0	279,7	307,7
Seletivo	0	400	0	230,3	148,1	142,5	290,6
Seletivo	0	600	0	230,3	115,3	188,8	304,1
Seletivo	0	800	0	230,3	86,0	235,3	321,3
Seletivo	0	1000	0	230,3	59,7	276,9	336,6
Seletivo	0	400	0	106,2	68,6	209,2	277,8
Seletivo	0	600	0	106,2	53,5	257	310,5
Seletivo	0	800	0	106,2	40,0	306,7	346,7
Seletivo	0	1000	0	106,2	28,0	349,3	377,3
Seletivo	0	400	0	230,3	148,1	192,6	340,7
Seletivo	0	600	0	230,3	115,3	247,3	362,6
Seletivo	0	800	0	230,3	86,0	301,5	387,5
Seletivo	0	1000	0	230,3	59,7	345,4	405,1
Seletivo	0	400	0	106,2	68,6	258,0	326,6
Seletivo	0	600	0	106,2	53,5	312,2	365,7
Seletivo	0	800	0	106,2	40,0	368,1	408,1
Seletivo	0	1000	0	106,2	28,0	412,1	440,1
Seletivo	0	400	0	230,3	148,1	242,7	390,8
Seletivo	0	600	0	230,3	115,3	304,2	419,5
Seletivo	0	800	0	230,3	86,0	364,1	450,1
Seletivo	0	1000	0	230,3	59,7	406,2	465,9
Seletivo	0	400	0	118,0	81,9	156,7	238,6
Seletivo	0	600	0	118,0	67,2	195,5	262,7
Seletivo	0	800	0	118,0	53,9	236,2	290,1
Seletivo	0	1000	0	118,0	41,7	273,5	315,2
Seletivo	0	400	0	252,7	174,1	136,2	310,3
Seletivo	0	600	0	252,7	142,3	179,6	321,9
Seletivo	0	800	0	252,7	113,6	223,8	337,4
Seletivo	0	1000	0	252,7	87,4	263,8	351,2
Seletivo	0	400	0	118,0	81,9	205,8	287,7
Seletivo	0	600	0	118,0	67,2	252,2	319,4
Seletivo	0	800	0	118,0	53,9	300,9	354,8
Seletivo	0	1000	0	118,0,	41,7	343,0	384,7
Seletivo	0	400	0	252,7	174,1	186,3	360,4
Seletivo	0	600	0	252,7	142,3	238,1	380,4
Seletivo	0	800	0	252,7	113,6	290,0	403,6
Seletivo	0	1000	0	252,7	87,4	332,4	419,8
Seletivo	0	400	0	1180	81,9	254,5	336,4

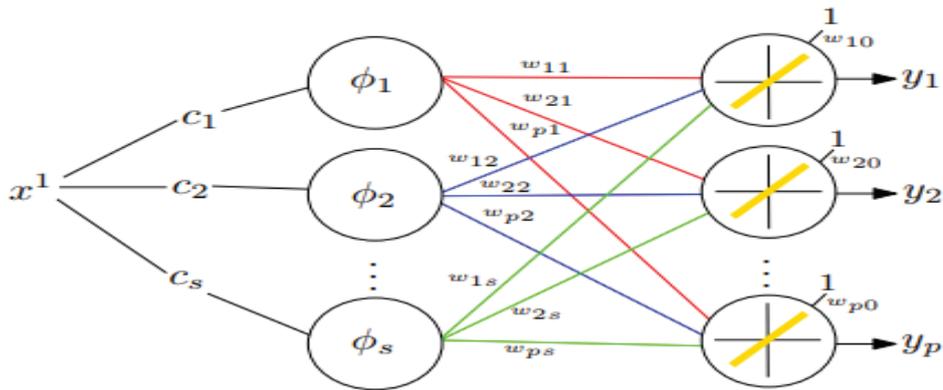


Figura 1. Representação de uma RNA do tipo RBF. Fonte: Mota et al. (2013).

Resultados e discussão

Os experimentos apresentam, de forma resumida, a avaliação dos resultados para o conjunto de treinamento (aprendizado) e para o conjunto de teste (resultados finais de volume).

Analisando-se a fase de aprendizagem, na qual foram apresentadas à RBF 96 instâncias, é possível afirmar, juntamente com o auxílio da Figura 2, que a rede foi capaz de aprender/assimilar as informações geradas pelo software SisPinus, alcançando um desempenho de 1.14402×10^{-28} para o conjunto de treinamento e $2,16313 \times 10^{-9}$ para o conjunto de teste.

Para testar a rede RBF já treinada, foram apresentadas a ela as demais 48 instâncias. Com base na Tabela 2, e por meio da análise dos resultados experimentais, pode-se observar que a RBF conseguiu prever

satisfatoriamente os valores dos volumes, com um desempenho de $2,16313 \times 10^{-9}$ para o conjunto de teste. Salientam-se também, as baixas diferenças entre os valores originais e simulados para cada uma das instâncias, com pequenas alterações a partir da terceira casa decimal.

De maneira complementar, a Figura 3 expressa o comportamento das duas simulações (SisPinus x Rede RBF) para as 48 instâncias utilizadas para teste. Novamente, fica evidente que a diferença entre eles é praticamente nula, com as linhas se sobrepondo ao longo do processo.

A Figura 4 traz mais uma representação para os resultados obtidos. Desta vez, o objetivo é comparar ambos os cenários a partir da média e do desvio padrão para os 48 padrões utilizados na fase de testes. Visualmente, percebe-se que a distribuição de

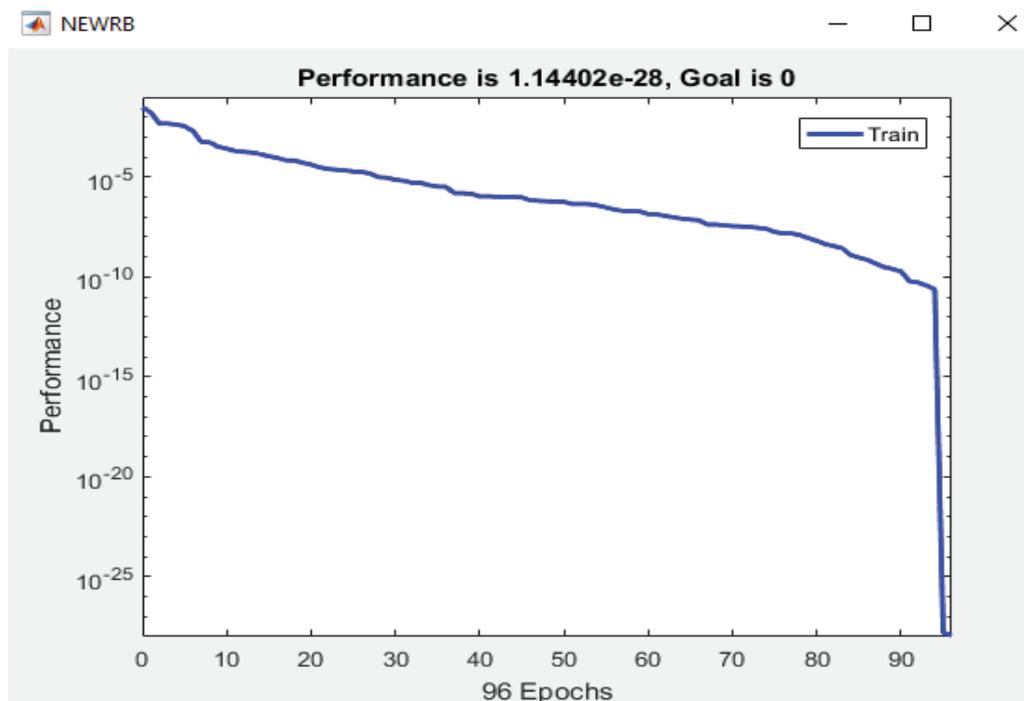


Figura 2. Gráfico do desempenho da RBF para o conjunto de treinamento da RBF (fase de aprendizado).

**Tabela 2.** Erros quadráticos e diferenças para as 48 instâncias utilizadas para testar a RBF.

Valor real	Valor simulado	Erro quadrático	Diferença entre o real e o simulado (em módulo)	Erro quadrático médio global
0,355039707	0,355361934	1,0383E-07	0,000322227	2,16313E-09
0,392547343	0,392211257	1,12953E-07	0,000336085	
0,46096518	0,460775829	3,58538E-08	0,000189351	
0,443005498	0,442669431	1,12941E-07	0,000336066	
0,498594991	0,498720804	1,5829E-08	0,000125814	
0,477458766	0,477899018	1,93822E-07	0,000440252	
0,320952963	0,320557356	1,56505E-07	0,000395607	
0,385094685	0,384825275	7,25822E-08	0,000269411	
0,35149664	0,351371564	1,56441E-08	0,000125076	
0,43347587	0,433217461	6,67753E-08	0,000258409	
0,512889432	0,51302701	1,89278E-08	0,000137578	
0,457544288	0,457369313	3,06163E-08	0,000174975	
0,569578497	0,569077106	2,51393E-07	0,000501391	
0,415638363	0,4146304	1,01599E-06	0,001007962	
0,533414783	0,533713378	8,91587E-08	0,000298594	
0,575565058	0,575812347	6,11518E-08	0,000247289	
0,594379963	0,594139555	5,77962E-08	0,000240408	
0,664996946	0,665023592	7,10011E-10	2,6646E-05	
0,732315211	0,731964523	1,22982E-07	0,000350688	
0,719242517	0,720240499	9,95968E-07	0,000997982	
0,516065974	0,516193103	1,61618E-08	0,000127129	
0,539279169	0,539542945	6,95776E-08	0,000263776	
0,565791081	0,565795307	1,78549E-11	4,2255E-06	
0,654245571	0,654839383	3,52613E-07	0,000593812	
0,594013439	0,593480827	2,83676E-07	0,000532612	
0,654245571	0,653835403	1,68238E-07	0,000410168	
0,716065974	0,715076653	9,78757E-07	0,000989321	
0,770311546	0,770215281	9,26689E-09	9,62647E-05	
0,57275504	0,574271029	2,29822E-06	0,001515989	
0,626145388	0,627606655	2,1353E-06	0,001461267	
0,740378742	0,742880926	6,26093E-06	0,002502185	
0,745387905	0,747973056	6,68301E-06	0,002585151	
0,678558338	0,679529476	9,43107E-07	0,000971137	
0,828100183	0,828812162	5,06914E-07	0,000711979	
0,868295663	0,870658503	5,58301E-06	0,00236284	
0,847525962	0,84873454	1,46066E-06	0,001208578	
0,884178375	0,882151327	4,10893E-06	0,002027049	
0,938179597	0,938737739	3,11523E-07	0,000558142	
0,980818571	0,982124638	1,70581E-06	0,001306068	
0,724496029	0,724935549	1,93178E-07	0,00043952	

Continua...



Tabela 2. Continuação...

Valor real	Valor simulado	Erro quadrático	Diferença entre o real e o simulado (em módulo)	Erro quadrático médio global
0,707513745	0,711006344	1,21983E-05	0,003492599	
0,731704337	0,731958202	6,44475E-08	0,000253865	
0,827000611	0,827938425	8,79494E-07	0,000937814	
0,844960293	0,847343222	5,67835E-06	0,002382929	
0,812095296	0,815887129	1,4378E-05	0,003791833	
0,871838729	0,872560517	5,20977E-07	0,000721788	
0,942333537	0,943050827	5,14505E-07	0,00071729	
0,944532682	0,94682757	5,26651E-06	0,002294888	

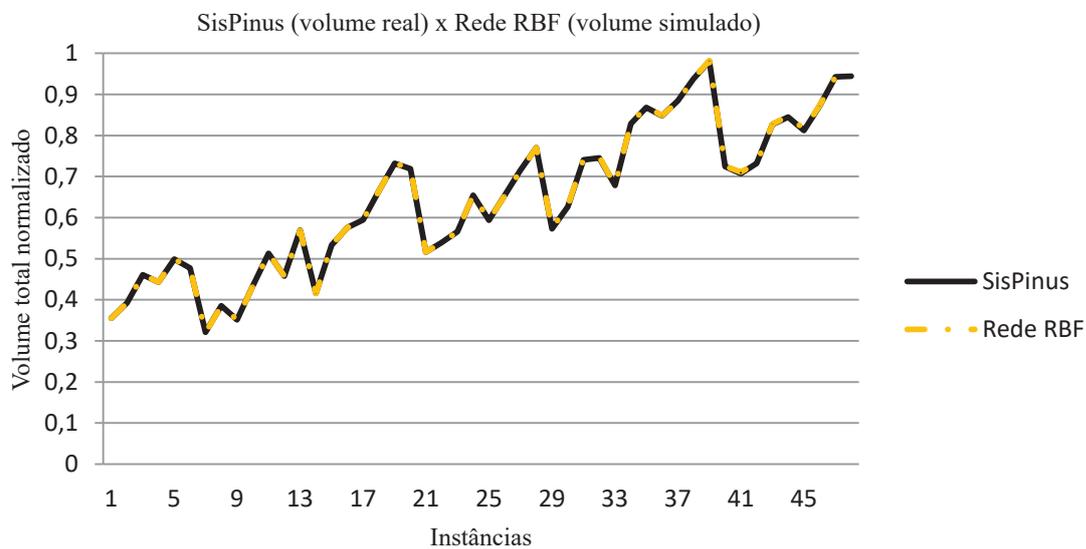


Figura 3. Comparação entre os volumes finais de *Pinus taeda* obtidos pelo software SisPinus e pela utilização da rede RBF.

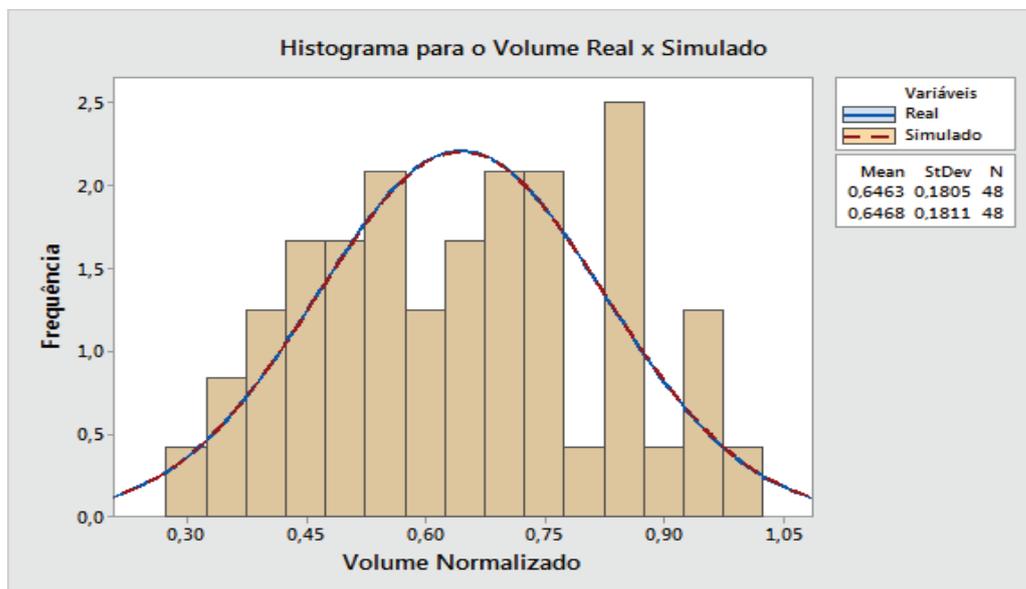


Figura 4. Histograma a respeito da média e desvio padrão para os dois resultados obtidos na fase de testes.



frequências e a própria curva normal se aproximam muito da igualdade, ficando muito difícil observar as duas linhas e os dois histogramas. O que comprova isto são os valores encontrados para o desvio padrão e a média para ambos os casos. Para o SisPinus, o desvio padrão foi 0,1811 e a média 0,6468, ao passo que para a RBF os resultados foram 0,1805 para o desvio e 0,6463 para a média.

Conclusões

O software *Matlab* mostrou-se eficiente para a construção e implementação de uma rede do tipo RBF orientada para a prognose de volume de madeira de desbaste e colheita final de plantações de *Pinus taeda*. O procedimento contou com a “alimentação” de 98 instâncias normalizadas no intervalo [0, 1] para o aprendizado da rede e com 48 instâncias para a fase de testes.

Os valores simulados pela metodologia apresentada apresentaram forte convergência com os valores originais gerados pelo SisPinus. Os erros quadráticos foram extremamente baixos para o conjunto de treinamento e para o conjunto de teste, consolidando que a abordagem de Redes de Bases Radiais pode ser uma excelente ferramenta para a prognose de volume de plantações de *Pinus taeda*, com elevado potencial para aplicação em plantações de outras espécies.

Referências

BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação

de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 639-645, 2013. DOI: 10.1590/S0100-67622013000400007.

BINOTI, M. L. M. S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; FERREIRA, M. Z.; RODE, R.; SILVA, A. A. L. Redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 283-288, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000200008.

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, p. 255, 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.83.596.

GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; GLERIANI, J. M.; SOARES, C. P. B.; CEOLIN, A. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 6, p. 1141- 1147, 2009. DOI: 10.1590/S0100-67622009000600016.

LEITE, H. G.; SILVA, M. L. M.; BINOTI, D. H. B.; FARDIN, L.; TAKIZAWA, F. H. 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, 2011. DOI: 10.1007/s10342-010-0427-7

MOTA, J. F.; SIQUEIRA, P. H.; SOUZA, L. V.; VITOR, A. Uma rede neural de base radial baseada em computação evolucionária. In: IBERIAN LATIN-AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, 32., 2011, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: [s.n.], 2011.

OLIVEIRA, E. B. de. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 68 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216).

VENDRUSCOLO, D. G. S.; DRESCHER, R.; SOUZA, H. S.; MOURA, J. P. V. M.; MAMORÉ, F. M. D.; SIQUEIRA, T. A. da S. Estimativa da altura de eucalipto por meio de regressão não linear e redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 4, p. 556-569, 2015.