

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
RONDÔNIA**

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

DANIELA CAMATA JANSEN

**ESTIMAÇÃO DE ALTURA EM PLANTIO DE EUCALIPTO POR MEIO REDES
NEURAIS ARTIFICIAIS NO ESTADO DE RONDÔNIA**

Ji-Paraná

2023

DANIELA CAMATA JANSEN

**ESTIMAÇÃO DE ALTURA EM PLANTIO DE EUCALIPTO POR MEIO REDES
NEURAS ARTIFICIAIS NO ESTADO DE RONDÔNIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *campus* Ji-Paraná, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Giovanni Correia Vieira.

Coorientadora: Ariane Pereira Gatti

Ji-Paraná

2023

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Jansen, Daniela Camata.

Estimação de altura em plantio de eucalipto por meio redes neurais artificiais no estado de Rondônia / Daniela Camata Jansen, Ji-Paraná-RO, 2023.

20 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Giovanni Correia Vieira.

Coorientador(a): Ariane Pereira Gatti Gatti.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Ji-Paraná-RO, 2023.

1. Inteligência artificial. 2. Floresta plantada. 3. Relação hipsométrico. 4. Inventário florestal. I. Vieira, Giovanni Correia (orient.). II. Gatti, Ariane Pereira Gatti (coorient.). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. IV. Título.

Bibliotecário(a) Responsável: Cleuza Diogo Antunes, CRB-11/864 (Campus Ji-Paraná)

**ESTIMAÇÃO DE ALTURA EM PLANTIO DE EUCALIPTO POR MEIO REDES
NEURAIS ARTIFICIAIS NO ESTADO DE RONDÔNIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *campus* Ji-Paraná, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal

Aprovado pela Banca Examinadora em 23 de novembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Giovanni Correia Vieira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO

Ariane Pereira Gatti
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO

Me. Deilton Wellington Ribeiro Nogueira
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – IFRO

Prof. Dr. Evandro Ferreira da Silva
Universidade Federal do Pará – UFPA

Ji-Paraná-RO, 23 de novembro de 2023

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
1.	OBJETIVOS.....	8
2	METODOLOGIA	8
2.1	DESCRIÇÃO DO LOCAL E DA BASE DE DADOS	8
2.2	MODELOS HIPSOMETRICOS TRADICIONAIS	10
2.3	REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS	10
2.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	11
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4	CONCLUSÃO	18
5	REFERÊNCIAS	18

RESUMO

O uso de redes neurais apresenta vantagens em comparação com métodos estatísticos tradicionais. Isso se deve à capacidade dessas redes de modelar relações não lineares e capturar interações complexas entre variáveis. Dessa forma, é possível estimar a altura com maior precisão em comparação aos modelos de regressão convencionais. Além disso, diversos estudos destacam a eficácia dessa técnica na modelagem de variáveis florestais, como volume e altura. O objetivo deste estudo é avaliar a eficácia das redes neurais artificiais na estimativa da altura de um plantio de eucalipto em Ji-Paraná, Rondônia. A exatidão foi por meio das seguintes estatísticas: raiz quadrada média do resíduo (RQME), bias e confeccionados gráficos de dispersão dos resíduos. Logo, foi utilizado o software r core Team (2018) e o Excel 2013 para fazer essas análises. Os resultados neste estudo revelaram-se altamente eficazes a utilização das Redes Neurais Artificiais na estimativa das alturas das árvores, apresentando valores de coeficiente de correlação variando de 72,65% a 76,90%. Essa abordagem apresentou resultados semelhantes aos modelos de regressão para a base de dados.

Palavras-chave: Inteligência artificial. Floresta plantada. Relação hipsométrico. Inventário florestal.

ABSTRACT

The use of neural networks has advantages over traditional statistical methods. This is due to the ability of these networks to model non-linear relationships and capture complex interactions between variables. In this way, it is possible to estimate height more accurately than conventional regression models. In addition, several studies have highlighted the effectiveness of this technique in modeling forest variables such as volume and height. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of artificial neural networks in estimating the height of a eucalyptus plantation in Ji-Paraná, Rondônia. Accuracy was measured using the following statistics: root mean square of the residual (RMSR), bias and scatter plots of the residuals. The software r core Team (2018) and Excel 2013 were used to carry out these analyses. The results of this study proved to be highly effective when using Artificial Neural Networks to estimate tree heights, with correlation coefficient values ranging from 72.65% to 76.90%. This approach presented similar results to the regression models for the database.

Keywords: Artificial intelligence. Planted Forest. Hypsometric Relationships. Forest inventory.

1 INTRODUÇÃO

O setor das florestas plantadas no Brasil desempenha um papel de suma importância nos aspectos econômicos, ambientais e sociais do país, com uma área estimada em cerca de 10 milhões de hectares, entretanto, o cultivo predominante das espécies de eucalipto e pinus impulsionam e sustentam essa indústria de maneira notável. As plantações se concentram

principalmente nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e Espírito Santo. No entanto, é no norte do país que surgem desafios e oportunidades no setor florestal. Diante desses desafios, a indústria busca soluções inovadoras para expandir sua presença na região, visando contribuir mais para o desenvolvimento sustentável do país (IBÁ, 2022).

O inventário florestal emerge como uma ferramenta crucial na avaliação do potencial produtivo e protetivo das florestas. Utilizando métodos de coleta de dados específicos para uma área determinada, esse processo fornece informações qualitativas e quantitativas sobre a composição e quantidade dos recursos florestais. A precisão na mensuração é vital para assegurar a confiabilidade dos dados coletados, exigindo que as medições sejam realizadas por profissionais qualificados, empregando equipamentos apropriados (CUNHA, 2004).

Segundo Melo (2019), a inteligência artificial (IA) desempenha um papel importante no inventário florestal e sua utilização permite estimativas mais precisas em comparação com métodos tradicionais, reduzindo custos ao eliminar a necessidade de amostragens extensivas e simplificando o processamento de dados complexos. Isso a torna uma ferramenta valiosa na modelagem de variáveis florestais, proporcionando melhorias significativas na precisão.

A mensuração de árvores em campo apresenta desafios, dada à dificuldade de acesso nas áreas florestais. Assim, a utilização de modelos revela-se de extrema importância no contexto do planejamento do manejo florestal, atendendo não apenas aos requisitos legais, mas também às considerações de custos operacionais. Essa abordagem desempenha um papel importante na avaliação da produção florestal, fornecendo informações essenciais que direcionam de maneira fundamentada a exploração florestal (HIRAMATSU, 2008; LIMA, 2015; CYSNEIROS et al., 2017).

Conforme destacado por Martins et al. (2019b), as Redes Neurais Artificiais (RNAs) têm a capacidade de identificar e modelar relações não lineares entre a variável de saída e as variáveis de entrada ao longo do processo de aprendizagem. Além disso, oferecem a vantagem de integrar eficientemente variáveis qualitativas. Esse atributo representa uma clara vantagem em comparação aos modelos de regressão clássicos, ampliando assim a capacidade de análise e predição de dados complexos.

Diversos estudos evidenciam os resultados notáveis alcançados na estimativa de parâmetros florestais ao empregar Redes Neurais Artificiais (RNAs). Esses resultados englobam estimativas previsões de altura total (DIAMANTOPOULOU, 2012; BINOTI et al., 2013a; BINOTI et al., 2013b), e volume (GORGENS et al., 2009; DIAMANTOPOULOU; MILIOS, 2010; RODRIGUES et al., 2010; BINOTI et al., 2014).

Neste estudo, busca-se avaliar a eficácia das RNAs na estimativa da altura de um plantio de eucalipto no município de Ji-Paraná, no estado de Rondônia. Essas redes oferecem vantagens sobre métodos estatísticos tradicionais, podendo modelar relações não lineares e capturar interações complexas entre variáveis.

1. OBJETIVOS

Avaliar a eficácia das redes neurais artificiais na estimativa da altura de um plantio de eucalipto em Ji-Paraná-RO, comparando com modelos de regressão.

Para atingir os objetivos propostos, este trabalho foi dividido em etapas, consideradas como objetivos específicos.

- Obter, por meio de medição com hipsômetro eletrônico, medidas precisas da altura das árvores de eucalipto e o DAP com o auxílio de uma suta;
- Estimar, por meio de redes neurais artificiais, a altura das árvores de eucalipto com base nos dados coletados, utilizando uma arquitetura otimizada de rede neural;
- Analisar a precisão das estimativas de altura obtidas com redes neurais artificiais quando comparadas com os modelos de regressão;
- Avaliar a capacidade da rede neural em capturar relações não lineares e interações complexas entre as variáveis de altura e DAP das árvores de eucalipto.

2 METODOLOGIA

2.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL E DA BASE DE DADOS

O experimento foi realizado no município de Ji-Paraná, localizado no Estado de Rondônia. O clima de Ji-Paraná é Equatorial - tropical, com médias anuais 24,5 °C. A pluviosidade média anual é de 1.938 mm, sendo julho o mês mais seco, com 6 mm de precipitação e janeiro o mês mais chuvoso com 328 mm. O mês mais quente é agosto, com temperatura média de 25,7 °C. O mês mais frio é junho, com média de 23,4 °C (IBGE, 2017). O experimento será realizado em um plantio de eucalipto com 5 anos de idade, com área de

0,5 ha, localizado no Parque Tecnológico Vandeci Rack, onde é realizado anualmente o Evento Rondônia Rural Show, Rodovia Br-364, Km 333, Bairro Zona Rural - Ji-Paraná, RO.



Figura 1: Croqui da área de estudo no município de Ji-Paraná, Rondônia, Brasil.

A base de dados composta de 134 árvores foi dividida em 70% para ajuste e treinamento e 30% para teste. Foram utilizados 15% dos dados de treinamento para validação cruzada no treinamento das redes neurais artificiais.

O estudo dos resultados dendrométricos conforme a **Tabela 1** os grupos treinamento e validação destacam estatísticas do Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e Altura Total (Ht), medindo o DAP a 1,30 metros do solo. No DAP varia de 6,00 cm a 21,9 cm, média de 13,67 cm, com desvio-padrão de $\pm 4,05$ cm. A Ht varia de 9,80 m a 14,9 m, média de 3,9 m, com desvio-padrão de $\pm 2,37$ m.

Na **Tabela 1** é apresentada a estatística descritiva da base de dados:

Tabela 1: Estatística descritiva de treinamento e validação base de dados.

DAP mínimo (cm)	DAP médio (cm)	DAP máximo (cm)	Desvio- padrão do DAP (cm)	Ht mínima (m)	Ht média (m)	Ht máxima (m)	Desvio- padrão da Ht (m)
-----------------------	----------------------	-----------------------	-------------------------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------------------

6,00	13,67	21,9	± 4,05	9,80	3,9	14,9	± 2,37
------	-------	------	--------	------	-----	------	--------

Ht: Altura total (m); *DAP*: diâmetro medido a 1,30 m do solo (cm).

2.2 MODELOS HIPSOMETRICOS TRADICIONAIS

Os modelos de regressão que foram ajustados no *software R* versão 4.3.1 utilizando a função “*lm*” para comparação com as redes neurais artificiais estão na **Tabela 1**.

Tabela 1: Modelos hipsométricos utilizados.

Modelos	Autor	Forma de ajuste
Modelo 1	Modelo da reta	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \varepsilon$
Modelo 2	Modelo parabólico	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP + \beta_2 \cdot DAP^2 + \varepsilon$
Modelo 3	Curtis	$Ht = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^{-1} + \varepsilon$
Modelo 4	Stoffels	$\ln(Ht) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \ln(DAP) + \varepsilon$

Ht: Altura total (m); *DAP*: diâmetro medido a 1,30 m do solo (cm); β_s : parâmetros do modelo; ε : erro aleatório.

2.3 REDES NEURAS ARTIFICIAIS

Para o treinamento das redes, foram testadas 100 redes para cada arquitetura *MultiLayerPerceptron – MP* com uma camada intermediária. Foram testadas arquiteturas de redes com neurônios variando de 1 á 5 neurônios na camada intermediária. Foram avaliadas duas funções de ativação na camada intermediária, a *logisticsigmoid* e a *Hyperbolic tangentsigmoid (tanh)*, sendo nomeadas como Rede 1 e Rede 2, respectivamente. Na camada de saída a função utilizada foi a linear. A rede neural artificial foi treinada utilizando o *software R* versão 4.3.1 utilizando o pacote *Neuralnet*. As funções são apresentadas na **Error! Reference source not found.:**

Tabela 2: Funções de ativação utilizadas

Função de ativação	Equação
<i>logistic sigmoid</i>	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$
<i>Hyperbolic tangent sigmoid</i>	$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1$
Linear	$f(x) = x$

Foram treinadas redes para cada configuração do tipo *feedforward*, pelo método supervisionado, utilizando o algoritmo de treinamento *resilientbackpropagationalgorithm-RPROP+*. Foi empregado como critério de parada antecipada pelo método de validação cruzada. As variáveis de entrada e saída foram padronizadas entre [0, 1] para a função de ativação *logisticsigmoid* e [-1, 1] para a função de ativação *Hyperbolictangentsigmoid*. A variável de entrada foi o *DAP* e a de saída foi o *Ht*.

2.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Para avaliar os modelos de regressão e as redes neurais artificiais, em termos de exatidão, foi utilizado os seguintes indicadores estatísticos, conforme **Tabela 3**: Coeficiente de correlação de Pearson entre o valor observado e o valor estimado ($r_{y\hat{y}}$); Raiz do quadrado médio do erro – *RQME* (%); *Viés* (%) e gráfico do valor observado versus o valor estimado.

Tabela 3: Indicadores estatísticos utilizados para avaliar o desempenho dos modelos de regressão e das redes neurais artificiais.

Estatística	Fórmula
$r_{y\hat{y}}(\%)$	$r_{y\hat{y}}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}) \cdot (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2] \cdot [\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2]}} \cdot 100$
<i>RQME</i> (%)	$RQME(\%) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2} \cdot 100$
<i>Viés</i> (%)	$Viés(\%) = \frac{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n} \right)}{\bar{y}} \cdot 100$

Em que: y_i é a variável dependente observada, \hat{y}_i é a variável dependente estimada, \bar{y} é média da variável dependente observada, $\bar{\hat{y}}$ é a média da variável dependente estimada e n número de observações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Tabela 5**. Representam os resultados das estimativas dos parâmetros para prever altura de árvores de eucalipto, a maioria dos parâmetros estimados são significativos, exceto no modelo 2.

Tabela 4: Parâmetros dos modelos de regressão ajustados.

Modelo	β_0	β_1	β_2
Modelo 1	3,65609 *	0,44316 *	-
Modelo 2	-1,197649 ^{ns}	1,215980 *	-0,028151 *
Modelo 3	14,9475 *	-64,5633 *	-
Modelo 4	0,51556 *	0,66934 *	-

Observação.: Os parâmetros com * são significativos pelo teste *t de Student* à 1% de significância.

Na **Figura 1 (A e B)**, apresentam as estruturas das redes neurais artificiais (RNA), abrangendo arquitetura, pesos, camadas, neurônio e conexões. Os resultados revelam que não possui diferenças significativas entre as configurações das duas redes. O erro na rede 1 foi de 0,789 enquanto na rede 2 registou-se um valor de 0,804, resultando em valores aproximados. Os testes variando números de neurônios em duas redes neurais conforme representado na **Figura 1 (C)**. Na Rede 1, observou-se uma redução do erro para 0,79 ao utilizar 3 neurônios, mantendo um erro constante de 0,82 em outras configurações. Por outro lado, na rede 2 o erro permaneceu inalterado em 0,81, com exceção da configuração com 4 neurônios, que resultou em uma redução do erro para 0,80.

No estudo de Vendruscolo et al. (2015), utilizou-se de três e de quatro neurônios na camada oculta na rede, mostrando que esse número de neurônios foi suficiente para aplicações no modelo de Gompertz empregado para descrever o desenvolvimento de diversas variáveis dendrométricas em árvores, além de ser aplicado em relações hipsométricas, visto que um excesso de neurônios pode resultar em erros mais significativos.

Já Martins et al. (2019b) conduziram uma pesquisa com o propósito de avaliar diversas configurações de Redes Neurais Artificiais (RNAs) para a estimativa da altura de árvores da espécie *Eucalyptus grandis*. Os resultados apontaram que as estimativas mais precisas foram alcançadas ao utilizar apenas três neurônios na camada oculta da RNA. A determinação do número ideal de neurônios na camada oculta é altamente dependente do contexto da aplicação e das características dos dados. Uma abordagem flexível envolveria otimizar o número de neurônios conforme a complexidade do problema e a disponibilidade de dados.

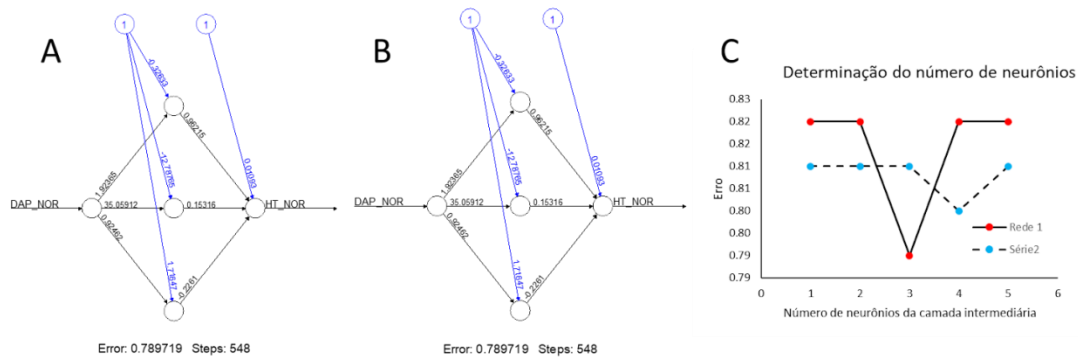


Figura 1: Configuração da arquitetura das redes 1 e 2 com seus respectivos pesos e a simulação para definir a quantidade de neurônios

No estudo de Martins et al. (2019b) conduziram uma pesquisa com o propósito de avaliar diversas configurações de Redes Neurais Artificiais (RNAs) para a estimativa da altura de árvores da espécie *Eucalyptus grandis*. Os resultados apontaram que as estimativas mais precisas foram alcançadas ao utilizar apenas três neurônios na camada oculta da RNA. Segundo Mingoranci (2023), foram examinadas seis configurações de redes neurais artificiais com duas camadas ocultas, diferindo apenas no número de neurônios em cada camada. Essas configurações incluíram uma com 3 neurônios na primeira camada oculta e 7 na segunda, os resultados apontaram também que não houve diferenças significativas entre essas diversas arquiteturas. No estudo de Martins et al. (2019b), o objetivo era testar diversas configurações de Redes Neurais Artificiais (RNA) para estimar a altura das árvores da espécie *Eucalyptus grandis*, utilizando apenas três neurônios na camada oculta. Durante o treinamento da rede, esses pesos foram ajustados para minimizar o erro e otimizar o desempenho da rede.

Com relação ao treinamento das (RNA) na **Tabela 6**, foram encontrados nos dados de teste resultados satisfatórios, os valores de coeficiente de correlação de 72,65% a 76,60% nos dados treinamento e o raiz quadrada do erro quadrático médio (RQME) de 16,33% a 17,08 %, mostrando um leve viés nas redes, na Rede 1 e Rede 2, apresentam melhor ainda o desempenho com variação RQME de 16,13% a 16,25. No trabalho de Mendonça (2018), a aplicação de modelos de regressão e redes neurais artificiais amplia significativamente a precisão das estimativas da altura total em plantios exclusivos de *Ipê Felpudo*, essa precisão tem potencial para ser de grande utilidade na gestão de plantações florestais. No estudo conduzido por Binotiet al. (2013b), foram treinadas cinco redes neurais, utilizando exclusivamente o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) como variável de entrada. Para cada critério de seleção, optou-se pela rede que apresentou o menor valor da raiz quadrada do erro médio (RQME) e o maior valor de correlação (r).

Tabela 5: Estatísticas para avaliar a exatidão dos modelos de regressão e das redes neurais artificiais treinadas.

Dados de ajuste e treinamento			
Modelos / Redes	$r_{y\hat{y}}$ (%)	RQME (%)	Viés (%)
Modelo 1	72,65	17,08	-
Modelo 2	75,38	16,33	-
Modelo 3	74,03	16,71	-
Modelo 4	76,60	16,96	-
Rede 1	76,20	16,13	- 0,46
Rede 2	75,81	16,25	- 0,42
Dados de teste			
Modelo 1	84,23	12,29	-
Modelo 2	85,91	11,79	-
Modelo 3	85,89	11,73	-
Modelo 4	85,04	12,64	-
Rede 1	82,33	13,17	- 1,53
Rede 2	84,83	12,53	- 1,15

Os quatros modelos treinados nas redes apresentam estatísticas de precisão semelhantes, tanto em termos de correlação quanto em relação à porcentagem de erro quadrático médio relativo (RQEM%), conforme indicado na **Tabela 6**. Assim, as Redes Neurais Artificiais (RNAs) estão se destacando como alternativas valiosas na modelagem florestal, frequentemente superando os métodos de regressão tradicionais (LEAL et al., 2020). Logo, reforça essa tendência sugerindo que as RNAs frequentemente superam os métodos convencionais.

Segue abaixo os gráficos de análise da Distribuição dos Resíduos em Relação à Altura Observada e Representação Gráfica do Erro Percentual para cada um dos modelos ajustados.

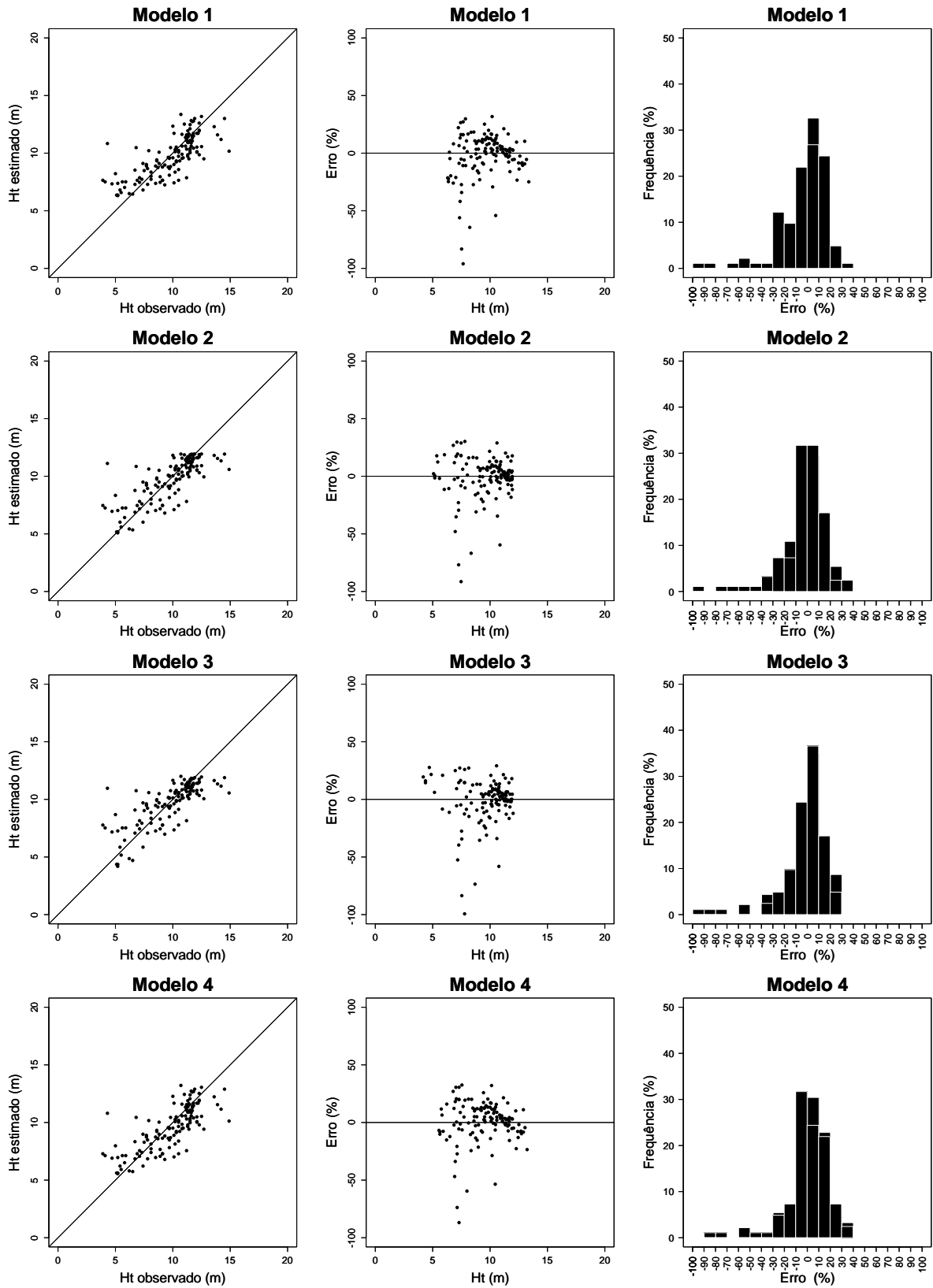


Figura 3: Gráficos de análise do resíduos dos dados de teste dos modelos de regressão.

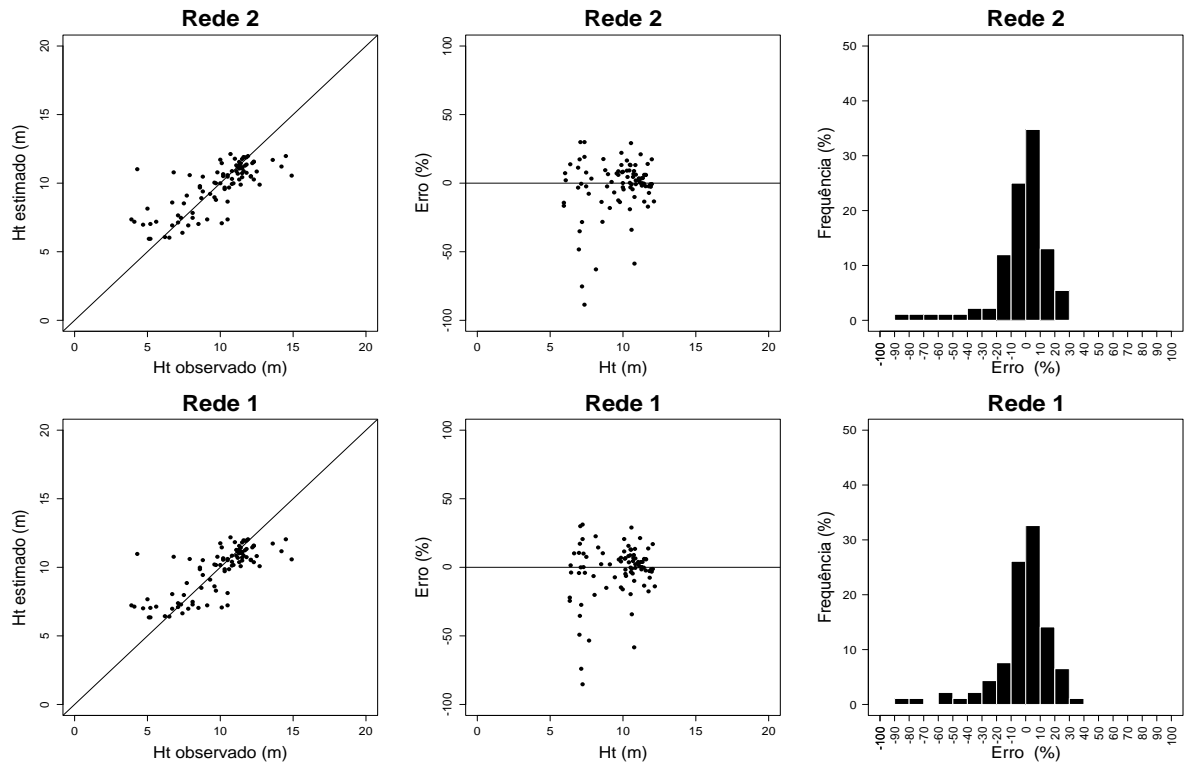


Figura 4: Gráficos de análise do resíduo dos dados de treinamento das redes neurais artificiais.

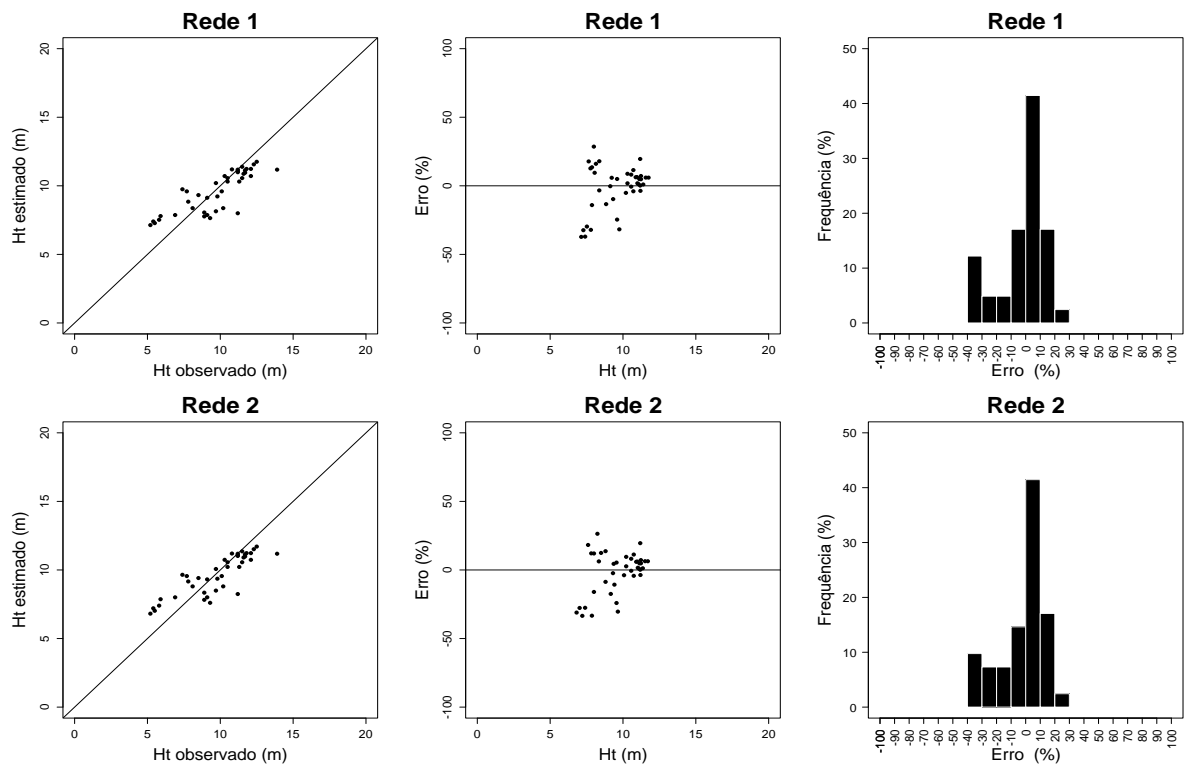


Figura 5: Gráficos de análise do resíduo dos dados de teste das redes neurais artificiais.

Os Modelos 1 a 4, conforme observado na **Figura 4** os modelos demonstram uma tendência consistente de subestimação na estimativa das alturas das árvores de eucalipto em relação às alturas estimadas e observadas. A análise da média de erro da classe de altura total sugere uma inclinação para a superestimação, indicando que todas as alturas as estimativas tendem a ser maiores que as observadas. O gráfico de barras complementa essas descobertas, mostrando uma frequência significativa de aproximadamente 35% dentro da faixa de erro médio de 10%. Observa-se que na **Figura 5** ilustra a tendência de superestimativa nos modelos apresentados em relação à altura estimada para altura observado, ao lado do modelo 1 é possível notar a média de erro total sendo representado tanto subestimado demonstrando a frequência variando 30 a 35% entre os modelos. Observa-se que as previsões dos modelos estão mais alinhadas com os dados reais, refletindo uma menor discrepância entre as previsões dos modelos e os dados reais de teste, apresentando bom desempenho para os modelos.

A análise da **Figura 6** revela as estimativas feitas pelas Redes 1 e 2 em comparação com as alturas observadas com as estimadas das árvores, ambas as redes apresentam um padrão além disso, ao examinar a representação adjacente é evidente a presença de uma tendência de superestimação em relação à altura total. Nesse contexto, destaca-se uma frequência de erro mais significativa em torno de 35%, especialmente na faixa de erro de 0 a 10%, indicando que as estimativas que caem nesse intervalo de erro são mais vantajosas, pois possuem menor discrepância em relação às alturas observadas. Na **Figura 7** ao analisar os gráficos, é possível observar uma quase imperceptível a tendência de superestimação nas redes em relação às alturas estimadas e observadas das árvores com 11 m. Esses valores se alinham mais próximos da linha central, sugerindo uma representação mais fiel dos valores reais. Há uma frequência de erro em torno de 40%, na faixa de 0 a 10%. É notável que as estimativas significativas dos dados observados, as árvores menores apresentaram erros, as demais o percentual de erro próximo de zero, demonstrando a distribuição normal, ou seja, não tem tendência. De uma forma geral, a análise gráfica dos resíduos dos modelos das redes dispersão estimou melhor o seu desempenho com erro menor no geral.

Alguns autores buscaram apresentar os desempenhos em suas análises como Martins (2016), em seus resultados obtidos mostram a necessidade de estabelecer configurações precisas para Redes Neurais Artificiais (RNAs), já que aplicações distintas podem precisar de configurações diferentes para alcançar desempenhos satisfatórios. Já no estudo de Gonçalves (2021), ao aumentar o número de neurônios até um máximo 20, observou-se uma leve

melhoria na estabilidade dos resíduos, indicando um gráfico de resíduos visualmente mais consistentes.

Entretanto, os resultados nesse estudo demonstram que quantidade adequada de dados é fundamental para a precisão. Com base nos resultados do estudo conduzido por Carvalho (2023), as RNAs regressão não linear na estimativa do volume de oco em troncos de árvores nas redes apresentaram precisão superior, o que fica evidente na análise dos gráficos de resíduos tanto durante o treinamento quanto no teste, também revelou uma concentração notável dos resíduos que estão próximo à linha central, ou seja, a maioria dos resíduos agrupou-se nas proximidades do valor zero. Podemos ressaltar que as Redes Neurais Artificiais não apenas se destacam na estimativa de alturas de árvores, mas também demonstram eficácia em diversas outras situações florestais.

4 CONCLUSÃO

Os modelos propostos apresentaram melhores resultados evidenciando uma frequência mais significativa de erros reduzidos na precisão da estimativa das alturas das árvores. Essa abordagem mostrou-se as RNAs para melhores resultados é preciso ser treinadas com números maiores de dados para uma determinação precisa das alturas estimadas, superando observações em plantios. Os resultados semelhantes, mas que as RNAs possibilitam a adição de outras variáveis à análise, melhorando e superando o modelo existente, vale ressaltar que, dada a área relativamente pequena de 0,5 hectares, houve interferência nos resultados, destacando a influência do tamanho da área para ser eficaz das redes. A predominância de erros minimizados nas redes ressalta a viabilidade e o potencial desta metodologia para fornecer estimativas confiáveis e precisas das alturas das árvores em plantações de eucalipto.

5 REFERÊNCIAS

AMATEIS, R. L.; BURKHART, H. E.; ZHANG, S. **TRULOB**: Tree Register Updating for Loblolly Pine (an individual tree growth and yield model for managed loblolly pine plantations). Coop. Rep, v. 83, 1995. Disponível em: <https://fmrc.frec.vt.edu/content/dam/fmrc_frec_vt_edu/documents/TRULOB.PDF>. Acesso em: 19 out. 2023.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. DA S.; LEITE, H. G. Configuração de redes neurais para estimação do volume de madeira. **Ciência da Madeira**, v.5, n.1, p.59-67, 2014. <<http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v05n01a06>>. Acesso em: 19 out. 2023.

BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. DA S.; LEITE, H. G.; SILVA, A. Redução dos custos em inventário de povoamentos equiâneos. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v.8, n.1, p.125-129, 2013b. <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v8i1a2209>>. Acesso em: 19 out. 2023.

BINOTI, M. L. M. DA S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Aplicação de redes neurais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.639-645, 2013a. <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000400007>>. Acesso em: 19 out. 2023.

CARVALHO, A. C. de et al. **Redes neurais artificiais e regressão não linear na estimativa do volume de oco em troncos de árvores na flona de Saracá-Taquera, Estado do Pará**. 2023. Tese de Doutorado. UFRA-Campus/Belém. Disponível em: <https://ppgcf.ufra.edu.br/images/dissertacoes/DISSERTACAO_ALEXANDRE.pdf>. Acesso em: 19 out. 2023..

CYSNEIROS, V. C. et al. Modelos genéricos e específicos para estimativa do volume comercial em uma floresta sob concessão na Amazônia. **ScientiaForestalis/Forest Sciences**, v. 45, n. 114, p. 295–304, 2017.

DA CUNHA, Ulisses Silva. **Dendrometria e Inventário Florestal**, 2004. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2023.

DE MENDONÇA, A. R. et al. Estimação da Altura Total de Árvores de Ipê Felpudo Utilizando Modelos de Regressão e Redes Neurais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 36, n. 1, p. 128-139, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjY0LHxkfSCAxV1iJUCHU6qCpcQFnoECAkQAQ&url=https%3A%2F%2Fbiometria.ufra.br%2Findex.php%2FBBJ%2Farticle%2Fdownload%2F154%2F163&usq=AOvVaw3fbNrVyBS7UVZ-CDA7ykeX&opi=89978449>>. Acesso em: 19 out. 2023.

DIAMANTOPOULOU, M. J. Assessing a reliable modeling approach of features of trees through neural network models for sustainable forests. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, v.2, n.4, p.190-197, 2012. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.suscom.2012.10.002>>. Acesso em: 19 out. 2023.

DIAMANTOPOULOU, M. J.; MILIOS, E. Modelling total volume of dominant pine trees in reforestations via multivariate analysis and artificial neural networks models. **Biosystems Engineering**, v.105, n.3, p.306-315, 2010. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.11.010>>. Acesso em: 19 out. 2023.

GONÇALVES, F. C. **Predição volumétrica utilizando redes neurais artificiais e dados de sensoriamento remoto em floresta nativa na Amazônia brasileira**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) — Universidade de Brasília, Brasília, p. 65, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/41682/1/2021_FrancimarCarvalhoGoncalves.pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.

GORGENS, E. B.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. N.; GLERIANI, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009.

HIRAMATSU, N. A. **Equações de volume comercial para espécies nativas na região do Vale do Jari, Amazônia Oriental**. 2008. 107 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Indústria brasileira de árvores**, 2022. Disponível em: <<http://www.centralflorestal.com.br/2021/12/relatorio-anual-2021-da-iba-ja-esta.html>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Ji-Paraná**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/ji-parana/panorama>>. Acesso em: 21 set. 2023.

LEAL, F. A.; LEAL, G. DA S. A.; SILVA, T. C. DA. Redes neurais artificiais e modelos hipométricos aplicados para estimativa de volume e altura em *Eucalyptusurophylla*S.T.Blacke. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1181–1188, 3 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjF7YCukvSCAxVipJUCHXpsBDsQFnoECBIQAQ&url=https%3A%2F%2Fperiodicoscientificos.ufmt.br%2Fojs%2Findex.php%2Ffafor%2Farticle%2Fview%2F10720%2F7721&usg=AOvVaw11z3t1dO3w7ttmI0316IZP&opi=89978449>>. Acesso em: 19 out. 2023.

LIMA, R. C. **Equações para estimativas de biomassa de uma floresta tropical úmida do Amapá**.Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) — Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife, p. 50, 2015.

MARTINS, M. et al. estimativa de altura para povoamentos de eucalipto no Rio Grande Do Sul por meio de diferentes configurações de redes artificiais. **AgrarianAcademy**, v. 6, n. 11, p. 162–174, 22 jul. 2019b.

MELO, E. de A. et al. **Modelagem da relação hipsométrica e do crescimento e produção utilizando aprendizagem de máquina e modelo de efeito misto**. 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/35290/1/TESE_Modelagem%20da%20rela%C3%A7%C3%A3o%20hipsom%C3%A9trica%20e%20do%20crescimento%20....pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.

MINGORANCI, V. C. **Uso de redes neurais artificiais para avaliação comparativa do desenvolvimento de mudas de Eucalyptus spp. produzidas em tubetes de polipropileno e em berço germinador compostável a campo**. Dracena: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Departamento de Produção Vegetal, 2023.

VENDRUSCOLO, D. G. S. et al. 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. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/13954/1/ARTIGO_Estimativa%20da%20altura%20de%20eucalipto%20por%20meio%20de%20regress%C3%A3o%20n%C3%A3o%20linear%20e%20redes%20neurais%20artificiais.pdf>. Acesso em: 19 out. 2023.